

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

DOTTORATO DI RICERCA IN
Scienze Geodetiche e Topografiche

Ciclo XXII

Settore scientifico-disciplinare di afferenza: ICAR06

TITOLO TESI

Calcolo della posizione di reti
di stazioni permanenti

Presentata da: Dott. Luciano Ricucci

Coordinatore Dottorato
Prof. Gabriele Bitelli

Relatore
Prof. Maurizio Barbarella

Esame finale anno 2010

Ad Antonella e Leonardo

Ringrazio i miei Guru: Antonio, Maurizio, Nicola e Stefano che tanto mi hanno dato; ringrazio i miei compagni di ufficio: Andrea, Claudio, Federico, Michaela e Michela che hanno sopportato le mie ingombranti presenze; ringrazio soprattutto Antonella e Leonardo che hanno dovuto sopportare le mie imbarazzanti assenze.

Parole Chiave:

- **GNSS**
- **Reti di stazioni permanenti**
- **Reti NRTK**
- **Compensazione**
- **RDN**
- **Bernese**
- **Gamit**
- **Gipsy**

Riassunto

Con il trascorrere del tempo, le reti di stazioni permanenti *GNSS* (*Global Navigation Satellite System*) divengono sempre più un valido supporto alle tecniche di rilevamento satellitare. Esse sono al tempo stesso un'efficace materializzazione del sistema di riferimento e un utile ausilio ad applicazioni di rilevamento topografico e di monitoraggio per il controllo di deformazioni. Alle ormai classiche applicazioni statiche in post-processamento, si affiancano le misure in tempo reale sempre più utilizzate e richieste dall'utenza professionale.

In tutti i casi risulta molto importante la determinazione di coordinate precise per le stazioni permanenti, al punto che si è deciso di effettuarla tramite differenti ambienti di calcolo. Sono stati confrontati il *Bernese*, il *Gamit* (che condividono l'approccio differenziato) e il *Gipsy* (che utilizza l'approccio indifferenziato). L'uso di tre *software* ha reso indispensabile l'individuazione di una strategia di calcolo comune in grado di garantire che, i dati ancillari e i parametri fisici adottati, non costituiscano fonte di diversificazione tra le soluzioni ottenute.

L'analisi di reti di dimensioni nazionali oppure di reti locali per lunghi intervalli di tempo, comporta il processamento di migliaia se non decine di migliaia di file; a ciò si aggiunge che, talora a causa di banali errori, oppure al fine di elaborare test scientifici, spesso risulta necessario reiterare le elaborazioni. Molte risorse sono quindi state investite nella messa a punto di procedure automatiche finalizzate, da un lato alla preparazione degli archivi e dall'altro all'analisi dei risultati e al loro confronto qualora si sia in possesso di più soluzioni.

Dette procedure sono state sviluppate elaborando i *dataset* più significativi messi a disposizione del *DISTART* (*Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, dei Trasporti, delle Acque, del Rilevamento del Territorio - Università di Bologna*). E' stato così possibile, al tempo stesso, calcolare la posizione delle stazioni permanenti di alcune importanti reti locali e nazionali e confrontare taluni fra i più importanti codici scientifici che assolvono a tale funzione.

Per quanto attiene il confronto fra i diversi *software* si è verificato che:

- le soluzioni ottenute dal *Bernese* e da *Gamit* (i due *software* differenziati) sono sempre in perfetto accordo;
- le soluzioni *Gipsy* (che utilizza il metodo indifferenziato) risultano, quasi sempre, leggermente più disperse rispetto a quelle degli altri *software* e mostrano talvolta delle apprezzabili differenze numeriche rispetto alle altre soluzioni, soprattutto per quanto attiene la coordinata Est; le differenze sono però contenute in pochi millimetri e le rette che descrivono i *trend* sono comunque praticamente parallele a quelle degli altri due codici;
- il citato *bias* in Est tra *Gipsy* e le soluzioni differenziate, è più evidente in presenza di determinate combinazioni Antenna/Radome e sembra essere legato all'uso delle calibrazioni assolute da parte dei diversi *software*.

E' necessario altresì considerare che *Gipsy* è sensibilmente più veloce dei codici differenziati e soprattutto che, con la procedura indifferenziata, il *file* di ciascuna stazione di ciascun giorno, viene elaborato indipendentemente dagli altri, con evidente maggior elasticità di gestione: se si

individua un errore strumentale su di una singola stazione o se si decide di aggiungere o togliere una stazione dalla rete, non risulta necessario il ricalcolo dell'intera rete.

Insieme alle altre reti è stato possibile analizzare la *Rete Dinamica Nazionale (RDN)*, non solo i 28 giorni che hanno dato luogo alla sua prima definizione, bensì anche ulteriori quattro intervalli temporali di 28 giorni, intercalati di sei mesi e che coprono quindi un intervallo temporale complessivo pari a due anni. Si è così potuto verificare che la *RDN* può essere utilizzata per l'inserimento in *ITRF05 (International Terrestrial Reference Frame)* di una qualsiasi rete regionale italiana nonostante l'intervallo temporale ancora limitato. Da un lato sono state stimate le velocità *ITRF* (puramente indicative e non ufficiali) delle stazioni *RDN* e, dall'altro, è stata effettuata una prova di inquadramento di una rete regionale in *ITRF*, tramite *RDN*, e si è verificato che non si hanno differenze apprezzabili rispetto all'inquadramento in *ITRF*, tramite un congruo numero di stazioni *IGS/EUREF (International GNSS Service / European REference Frame, SubCommission for Europe)* dello *International Association of Geodesy*.

Abstract

A precise and accurate coordinates estimation of *GNSS* (*Global Navigation Satellite System*) networks is very important; it can be obtained by using many software and following several strategies. One aim of the present work is to evaluate the differences of final solutions coming from different adjustment approaches and software parameterizations. Three different scientific software have been employed: *Bernese*, *Gamit/Globk/Glorg* and *Gipsy/Oasis II*. The *Bernese* and *Gamit* software systems adopt the classical approach (based on double phase difference), while the *Gipsy* software implements the Precise Point Position approach.

In order to follow the *EUREF* (“*European REference Frame, SubCommission for Europe*” of the “*International Association of Geodesy*”) guidelines for network densification, harmonization of the ancillary products and options was needed. These guidelines consist of a list of indications covering all phases of data processing.

Analyzing the solutions obtained by processing large amounts of data by means of the three software packages, the creation of a dedicated automatic pre and post-processing procedure became necessary. The realization of these procedures permitted data analysis and processing in a very short time. This technical aspect is mandatory considering the elaboration of regional *GNSS* networks or local networks for a long time span. These procedures were developed by processing the most significant datasets made available to the *DISTART* (*Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, dei Trasporti, delle Acque, del Rilevamento del Territorio - a Department of the University of Bologna*). Therefore it has been possible to calculate the position of permanent stations of some important local and national networks and to compare some of the most important scientific codes at the same time.

Some final considerations concerning the comparison between different software are listed below:

- The solutions obtained by differentiated approaches (*Bernese* and *Gamit*) are very close one to each other;
- *Gipsy* solutions (using undifferentiated method) are frequently slightly more scattered than those coming from other software and sometimes they show larger differences mostly regarding the East component; nevertheless, the same differences range a few millimetres, and the trend describing lines are nearly parallel to those referring to the other two codes;
- The bias in the East component between *Gipsy* and differentiated solutions, is more evident in some combinations Antenna/Radome and appears to be related to the use of “absolute antenna calibrations” performed by different software.

Anyway, an important consideration coming from software comparison is that *Gipsy* is faster and more flexible than the others: if an instrumental error is detected on a single station or if you decide to add or remove a station from the network, recalculation of the entire network will not be necessary.

The *RDN* (*Rete Dinamica Nazionale*) was also analyzed. It has been possible to verify that *RDN* can be used in order to frame any regional Italian network in *ITRF05* (*International Terrestrial Reference Frame*). On one hand, the trend *ITRF* (a purely indicative and non-official trend) of the stations *RDN* has been estimated, on the other, the framework of a regional network in *ITRF* by means of *RDN* has been tested.

Indice

1	Introduzione.....	1
2	Fasi di lavoro e strategie di calcolo	3
2.1	Fase 1: Preparazione del dataset.....	3
2.2	Fase 2: Il processamento propriamente detto	5
2.2.1	Software di elaborazione dati	5
2.2.2	Strategie di calcolo	6
2.2.2.1	Bernese	7
2.2.2.2	Gamit/Globk/Glorg	8
2.2.2.3	Gipsy-Oasis II	9
2.2.3	Parametri di calcolo comuni.....	10
2.2.4	Stazioni di inquadramento.....	13
2.3	Fase 3: Post trattamento e rappresentazione dei risultati	15
2.3.1	Trasformazioni	16
2.3.2	Serie temporali e rette di regressione	17
2.3.3	Esempio di log.....	18
2.3.4	Rappresentazione grafica delle serie temporali.....	19
2.3.5	Inquadramento in ETRF00.....	23
2.3.6	Valori statisticamente significativi.....	25
2.3.7	Strategia di confronto	27
3	Esempi applicativi e confronto fra codici.....	31
3.1	BoPos	31
3.2	ItalPoS	34
3.2.1	Descrizione della rete e preparazione del dataset.....	34
3.2.2	Strategie di calcolo	36
3.2.3	Risultati	39
3.2.4	Conclusioni.....	44
3.3	RDN	45
3.3.1	Descrizione della rete e preparazione del dataset.....	45
3.3.2	Strategie di calcolo	47
3.3.3	Risultati	47
3.3.3.1	Confronto tra la soluzione IGMI e la soluzione DISTART	50
3.3.3.2	Confronto tra le soluzioni DISTART: Bernese, Gamit e Gipsy	52
3.3.4	Conclusioni.....	56
3.4	SoGER.....	57
3.4.1	Descrizione della rete e preparazione del dataset.....	57
3.4.2	Strategie di calcolo	58
3.4.3	Risultati	60
3.4.3.1	Confronto tra le soluzioni utilizzando le calibrazioni assolute mutate dalle relative NGS	63
3.4.4	Conclusioni.....	67

3.5	Considerazioni conclusive e tempi di calcolo.....	67
4	Alcuni approfondimenti	70
4.1	Inquadramento della rete SoGER in ITRF05 tramite RDN.....	70
4.2	Confronti fra soluzioni ottenute utilizzando diverse calibrazioni delle antenne.....	76
4.3	Clusterizzazione in Gamit.....	82
5	Evoluzione della RDN.....	90
6	Conclusioni	101
7	Bibliografia	103

Elenco delle figure

Figura 2.1 – Rete di inquadramento costituita da stazioni contemporaneamente IGS e EUREF	14
Figura 2.2 – Esempio di file “*.day”	16
Figura 2.3 – Esempio di log	18
Figura 2.4 – Esempio di file contenente l’output del confronto fra due soluzioni.....	29
Figura 2.5 – Esempio di mappa GMT con cerchi proporzionali alle differenze.....	30
Figura 3.1 – Rete BoPos (in rosso) e stazioni utilizzate per l’inquadramento (in giallo)	32
Figura 3.2 – Rete ItalPoS suddivisa in 5 cluster (rosso, verde, blu, magenta e ciano), stazioni di controllo (arancione) e stazioni utilizzate per l’inquadramento (giallo)	35
Figura 3.3 – Differenze delle soluzioni Bernese e Gipsy rispetto alla soluzione Gamit in coordinate geodetiche locali (ΔN , ΔE e ΔU).....	43
Figura 3.4 – Rete RDN (rosso) e stazioni utilizzate per l’inquadramento (giallo)	46
Figura 3.5 – Differenze delle soluzioni Bernese IGMI rispetto alle soluzioni Bernese DISTART in coordinate cartesiane geocentriche (XYZ).....	51
Figura 3.6 – Differenze delle soluzioni Bernese e Gipsy rispetto alla soluzione Gamit in coordinate geodetiche locali (ΔN , ΔE e ΔU).....	53
Figura 3.7 – Rete SoGER (rosso) e stazioni IGS/EUREF utilizzate per l’inquadramento (giallo) ...	57
Figura 3.8 – Differenze delle soluzioni Gipsy rispetto alle soluzioni Gamit in coordinate geodetiche locali (ΔN , ΔE e ΔU).....	63
Figura 3.9 – Differenze delle soluzioni Gipsy rispetto alle soluzioni Gamit in coordinate geodetiche locali (ΔN , ΔE e ΔU ; utilizzando le calibrazioni assolute mutate dalle calibrazioni relative NGS).....	66
Figura 4.1 – Rete SoGER (rosso) e stazioni RDN utilizzate per l’inquadramento (giallo)	70
Figura 4.2 – Differenze fra la soluzione inquadrata in IGS e quella inquadrata in RDN in coordinate geodetiche locali (ΔN , ΔE e ΔU).....	76
Figura 4.3 – Differenze delle soluzioni gangs e gatop rispetto alla soluzione gageo in coordinate geodetiche locali (ΔN , ΔE e ΔU).....	81
Figura 4.4 – Rete RDN suddivisa in 3 cluster (rosso, verde, blu) e stazioni utilizzate per l’inquadramento (giallo).....	83
Figura 4.5 – Rete RDN suddivisa in 3 cluster (rosso, verde, blu) e stazioni utilizzate per l’inquadramento (giallo).....	84
Figura 4.6 – Rete RDN suddivisa in 2 cluster (rosso, blu) e stazioni utilizzate per l’inquadramento (giallo).....	85
Figura 4.7 – Differenze fra la soluzione Gamit a 2 cluster (Nord, Sud) e la soluzione Gamit a cluster singolo in coordinate geodetiche locali (ΔN , ΔE e ΔU)	88
Figura 5.1 – Differenze delle soluzioni Gipsy rispetto alle soluzioni Gamit in coordinate geodetiche locali (ΔN , ΔE e ΔU).....	97
Figura 5.2 – Velocità ITRF delle stazioni RDN.....	98
Figura 5.3 – Velocità ETRF delle stazioni RDN	99
Figura 5.4 – Velocità ETRF delle stazioni RDN (con scala maggiorata)	100

Elenco dei grafici

Grafico 2.1 – Esempio di grafico con tutti i punti (<i>outlier</i> e non) e relative barre di errore.....	21
Grafico 2.2 – Esempio di grafico con i soli punti non rigettati.....	21
Grafico 2.3 – Esempio di grafico con i punti non rigettati e le tre rette di regressione	22
Grafico 2.4 – Esempio di grafico con i punti non rigettati, le tre rette di regressione e le relative curve di indeterminazione a 3σ	22
Grafico 2.5 – Serie temporale di Castelnuovo Ne’ Monti (RE) in ITRF.....	24
Grafico 2.6 – Serie temporale di Castelnuovo Ne’ Monti (RE) in ETRF.....	24
Grafico 3.1 – Esempio di soluzione ottenuta dai codici Bernese (blu), Gamit (verde) e Gipsy (rosso) per un sito della rete BoPos (San Piero a Sieve - FI).....	34
Grafico 3.2 – Esempio nel quale è corretto l’uso del valore interpolato all’epoca più recente	37
Grafico 3.3 – Esempio nel quale è corretto l’uso della media	38
Grafico 3.4 – Istogramma della dispersione della componente ΔN per i tre software	40
Grafico 3.5 – Istogramma della dispersione della componente ΔE per i tre software.....	40
Grafico 3.6 – Istogramma della dispersione della componente ΔU per i tre software	40
Grafico 3.7 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto Bernese vs Gamit....	44
Grafico 3.8 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto Bernese vs Gipsy	44
Grafico 3.9 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto Gamit vs Gipsy	44
Grafico 3.10 – Istogramma della dispersione della componente ΔN per i tre software	48
Grafico 3.11 – Istogramma della dispersione della componente ΔE per i tre software.....	49
Grafico 3.12 – Istogramma della dispersione della componente ΔU per i tre software	49
Grafico 3.13 – Istogramma delle differenze relative al confronto Bernese IGMI vs Bernese DISTART.....	51
Grafico 3.14 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto Bernese vs Gamit..	54
Grafico 3.15 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto Bernese vs Gipsy ..	54
Grafico 3.16 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto Gamit vs Gipsy	54
Grafico 3.17 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto Bernese trimmed vs Gamit trimmed.....	56
Grafico 3.18 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto Bernese trimmed vs Gipsy trimmed	56
Grafico 3.19 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto Gamit trimmed vs Gipsy trimmed.....	56
Grafico 3.20 – Istogramma della dispersione della componente ΔN per i due software.....	60
Grafico 3.21 – Istogramma della dispersione della componente ΔE per i due software	61
Grafico 3.22 – Istogramma della dispersione della componente ΔU per i due software.....	61
Grafico 3.23 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto Gamit vs Gipsy	62
Grafico 3.24 – Istogramma della dispersione della componente ΔN per i due software (utilizzando le calibrazioni assolute mutate dalle calibrazioni relative NGS).....	64
Grafico 3.25 – Istogramma della dispersione della componente ΔE per i due software (utilizzando le calibrazioni assolute mutate dalle calibrazioni relative NGS).....	64
Grafico 3.26 – Istogramma della dispersione della componente ΔU per i due software (utilizzando le calibrazioni assolute mutate dalle calibrazioni relative NGS).....	65
Grafico 3.27 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto Gamit vs Gipsy (utilizzando le calibrazioni assolute mutate dalle calibrazioni relative NGS).....	67
Grafico 4.1 – Serie temporali (gaIGS e gaRDN) della stazione RAVE con rette di regressione e relative curve di indeterminazione a 3σ	72
Grafico 4.2 – Istogramma della dispersione della componente ΔN per le due soluzioni	73
Grafico 4.3 – Istogramma della dispersione della componente ΔE per le due soluzioni.....	74
Grafico 4.4 – Istogramma della dispersione della componente ΔU per le due soluzioni	74

Grafico 4.5 – Istogramma della dispersione della componente ΔN per le tre soluzioni.....	78
Grafico 4.6 – Istogramma della dispersione della componente ΔE per le tre soluzioni	78
Grafico 4.7 – Istogramma della dispersione della componente ΔU per le tre soluzioni.....	79
Grafico 4.8 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto gangs vs gageo	82
Grafico 4.9 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto gageo vs gatop	82
Grafico 4.10 – Istogramma della dispersione della componente ΔN per le due soluzioni	86
Grafico 4.11 – Istogramma della dispersione della componente ΔE per le due soluzioni.....	86
Grafico 4.12 – Istogramma della dispersione della componente ΔU per le due soluzioni	87
Grafico 5.1 – Esempio di stazione RDN priva di problemi	95
Grafico 5.2 – Esempio di stazione RDN con problemi.....	95
Grafico 5.3 – AQUILA procedura automatica (gamit in verde, gipsy in rosso).....	96
Grafico 5.4 – AQUILA procedura manuale (dati pre sisma in verde, dati post sisma in rosso).....	96
Grafico 5.5 – ACOM: coordinate ETRF e relative rette di regressione.....	99

Elenco delle tabelle

Tabella 2.1 – Parametri e modelli mandatarî dell’ <i>EUREF TWG</i>	11
Tabella 2.2 – Parametri e modelli raccomandati dall’ <i>EUREF TWG</i>	12
Tabella 2.3 – Parametri comuni	13
Tabella 2.4 – Elenco delle 13 stazioni di inquadramento scelte	15
Tabella 2.5 – Esempio di tabella statistica	19
Tabella 2.6 – Tipico esempio di deviazione standard associato a una soluzione giornaliera per ogni software	25
Tabella 3.1 – Stazioni della rete BoPos.....	32
Tabella 3.2 – Stazioni di inquadramento “aggiunte”	33
Tabella 3.3 – Stazioni di controllo	35
Tabella 3.4 – Stazioni della rete ItalPoS con relativo numero di rinex.....	36
Tabella 3.5 – Tabella statistica relativa alla rete ItalPoS	39
Tabella 3.6 – I principali parametri statistici relativi alla dispersione delle serie temporali dei tre software	41
Tabella 3.7 – I principali parametri statistici relativi al confronto fra le tre soluzioni.....	42
Tabella 3.8 – Stazioni della rete RDN con relativo numero di rinex	46
Tabella 3.9 – Tabella statistica relativa alla rete RDN.....	48
Tabella 3.10 – I principali parametri statistici relativi alla dispersione delle serie temporali dei tre software	49
Tabella 3.11 – I principali parametri statistici relativi al confronto Bernese IGMI vs Bernese DISTART	50
Tabella 3.12 – I principali parametri statistici relativi al confronto fra le tre soluzioni.....	52
Tabella 3.13 – I principali parametri statistici relativi al confronto fra le tre soluzioni trimmed.....	55
Tabella 3.14 – Stazioni della rete SoGER con relativo numero di rinex	58
Tabella 3.15 – Tabella statistica relativa alla rete SoGER.....	60
Tabella 3.16 – I principali parametri statistici relativi alla dispersione delle serie temporali dei due software	61
Tabella 3.17 – I principali parametri statistici relativi al confronto fra le due soluzioni.....	62
Tabella 3.18 – Tabella statistica relativa alla rete SoGER (utilizzando le calibrazioni assolute mutuate dalle calibrazioni relative NGS).....	64
Tabella 3.19 – I principali parametri statistici relativi alla dispersione delle serie temporali dei due software (utilizzando le calibrazioni assolute mutuate dalle calibrazioni relative NGS)....	65

Tabella 3.20 – I principali parametri statistici relativi al confronto fra le due soluzioni (utilizzando le calibrazioni assolute mutate dalle calibrazioni relative NGS).....	66
Tabella 3.21 – Time to Process e prestazioni dei computer utilizzati.....	68
Tabella 4.1 – Stazioni della rete SoGER/IGS (a sinistra) e della rete SoGER/RDN (a destra) con relativo numero di rinex	71
Tabella 4.2 – Tabelle statistiche relative alla rete SoGER/IGS (sopra) e alla rete SoGER/RDN (sotto)	73
Tabella 4.3 – I principali parametri statistici relativi alla dispersione delle serie temporali delle due soluzioni	74
Tabella 4.4 – I principali parametri statistici relativi al confronto fra le due soluzioni.....	75
Tabella 4.5 – Tabella statistica relativa alla rete SoGER (doy 357/2007 – 019/2008).....	77
Tabella 4.6 – I principali parametri statistici relativi alla dispersione delle serie temporali delle tre soluzioni.....	79
Tabella 4.7 – I principali parametri statistici relativi al confronto fra le tre soluzioni	79
Tabella 4.8 – Tabella statistica relativa alle due soluzioni Gamit	86
Tabella 4.9 – I principali parametri statistici relativi alla dispersione delle serie temporali delle due soluzioni	87
Tabella 4.10 – I principali parametri statistici relativi al confronto fra le due soluzioni.....	87
Tabella 5.1 – Intervalli temporali del “nuovo” archivio RDN.....	90
Tabella 5.2 – Stazioni della rete RDN e relativo numero di rinex.....	92
Tabella 5.3 – Epoche di riferimento relative ai 5 intervalli temporali.....	93
Tabella 5.4 – Tabella statistica relativa ai dati Gamit eseguendo la “4PG” secondo diverse modalità.....	94

Acronimi

AIUB: Astronomical Institute, University of Berne, Switzerland.
BoPos: Bologna Positioning, rete stazioni permanenti per il rilievo in tempo reale del DISTART.
CISIS: Centro Interregionale per i Sistemi Informatici, geografici e statistici.
CORS: Continuously Operating Reference Stations.
CSH: C-Shell.
DISTART: Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, dei Trasporti, delle Acque, del Rilevamento del Territorio – Università di Bologna.
DOY: Day of year.
EPN: European Permanent Network.
ETRFyy: European Terrestrial Reference Frame realizzato dall'EUREF.
ETRS: European Terrestrial Reference System realizzato dall'EUREF.
EURA: una soluzione SOPAC ottenuta con Gamit, in pratica è un sottoinsieme “europeo” delle stazioni permanenti SOPAC che sono disseminate sull'intero globo.
EUREF: European REference Frame, SubCommission for Europe dello IAG.
EUREF TWG: Euref Technical Working Group.
GLONASS: GLObalnaya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema = GLObal NAVigation Satellite System.
GNSS: Global Navigation Satellite System.
GPS: Global Positioning System.
IAG: International Association of Geodesy.
IERS: International Earth rotation and Reference system Service.
IFAG: Institute for Applied Geodesy.
IGMI: Istituto Geografico Militare Italiano.
IGS: l'International GNSS Service for Geodynamics (collabora con lo IERS e partorisce effemeridi precise per i satelliti GPS consistenti con i diversi frames (ITRF) del sistema di riferimento ITRS).
ItalPoS: Italian Positioning Service della Leica Geosystems.
ITRFyy: International Terrestrial Reference Frame realizzato dallo IERS con la collaborazione dell'IGS.
ITRS: International Terrestrial Reference System realizzato dallo IERS con la collaborazione dell'IGS.
JPL: Jet Propulsion Laboratory.
MIT: Massachusetts Institute of Technology.
NGS: National (U.S.A.) Geodetic Survey.
NRTK: Network Real Time Kinematic.
NTRIP: Networked Transport of RTCM via Internet Protocol.
PPP: Precise Point Positioning.
RDN: Rete Dinamica Nazionale definita dall'IGM (Istituto Geografico Militare).
RINEX: Receiver INdependent EXchange format. A set of standard definition and formats for ASCII data files to promote the free exchange of GPS.
RTCM: Radio Technical Commission for Maritime Services.
SoGER: Società Geometri regione Emilia Romagna.
SEPA: ditta di Torino che ha sviluppato un software per il monitoraggio frane.
SINEX: Solution (Software/technique) INdependent EXchange Format.
SOPAC: Scripps Orbit and Permanent Array Center, ente americano che collabora con il MIT e utilizza Gamit per il posizionamento di stazioni permanenti disseminate sull'intero globo.
TEQC: Traslate/Edit/Quality Check.
TTP: Time-To-Process.
WP: Web Page (si veda la Bibliografia).

1 Introduzione

Con il trascorrere del tempo, le reti di stazioni permanenti *GNSS* (*Global Navigation Satellite System*), divengono sempre più un valido supporto alle tecniche di rilevamento satellitare. Esse sono al tempo stesso un'efficace materializzazione del sistema di riferimento e un utile ausilio ad applicazioni di rilevamento topografico e di monitoraggio per il controllo di deformazioni.

Alle ormai classiche applicazioni statiche in post-processamento, si affiancano le misure in tempo reale sempre più utilizzate e richieste dall'utenza professionale.

Le reti per il posizionamento in tempo reale costituiscono infrastrutture capaci di fornire, ad un utente dotato di strumentazione apposita, correzioni da applicare alle osservazioni di fase, tali da consentire l'esecuzione di rilievi *GNSS* con precisione centimetrica in tempo reale, senza l'ausilio di ricevitori di riferimento propri posti su siti a coordinate note.

L'esperienza maturata gestendo una piccola rete *NRTK* (*Network Real Time Kinematic*) ed alcuni sistemi di monitoraggio per il controllo di deformazioni, ha reso evidente l'importanza della determinazione di coordinate precise per le stazioni che costituiscono la rete, esse risultano indispensabili per un corretto fissaggio delle ambiguità. Siccome le coordinate di un qualsiasi punto sulla superficie terrestre cambiano con continuità anche se il punto non subisce l'azione di eventi locali (frane, terremoti, etc.), risulta inoltre necessario eseguire periodicamente il calcolo delle coordinate delle stazioni che costituiscono la rete e il successivo inquadramento nel sistema di riferimento scelto.

Quindi, il "Calcolo della posizione di reti di stazioni permanenti", risulta particolarmente importante, al punto che si è deciso di effettuarlo tramite differenti ambienti di calcolo.

Lo scrivente ha lavorato sostanzialmente con un codice (*Gamit*) approfondendone le modalità d'uso ma, ai risultati di questo, sono stati affiancati i risultati del ben noto *Bernese*, che condivide con il *Gamit* il tipo di approccio (differenziato), e i risultati di *Gipsy* che utilizza un approccio indifferenziato e, in origine, modelli orbitali differenti.

L'elaborazione necessaria per il calcolo di precisione delle coordinate delle stazioni permanenti, è un processo complesso che prevede l'acquisizione di dati ancillari (orbite precise, parametri di orientamento della terra, maree terrestri, moto del polo) e la scelta di parametri fisici utili a correggere effetti sistematici che hanno perturbato i dati acquisiti (e.g. effetto ionosferico e troposferico); gli uni come gli altri hanno potenzialmente un grosso impatto sui risultati finali. Si è quindi prestata particolare attenzione all'individuazione di una strategia di calcolo comune in grado di garantire che, i dati ancillari e i parametri fisici adottati, non costituiscano fonte di diversificazione tra le soluzioni ottenute con i tre *software*.

Se si analizzano reti di dimensioni nazionali oppure reti locali per lunghi intervalli di tempo, risulta necessario processare migliaia se non decine di migliaia di file; a ciò si aggiunge che, talora a causa di banali errori, oppure al fine di elaborare test scientifici, spesso risulta necessario reiterare le elaborazioni. Si è così deciso di investire molte risorse nella messa a punto di

procedure automatiche finalizzate, da un lato alla preparazione degli archivi e dall'altro all'analisi dei risultati e al loro confronto qualora si sia in possesso di più soluzioni.

Dette procedure sono state sviluppate sulla base delle esperienze maturate elaborando reti molto diverse fra loro, sia per quanto riguarda il numero di stazioni, che per quanto attiene l'ampiezza della finestra temporale analizzata.

In questo lavoro sono riportate le elaborazioni, compiute il più delle volte con i tre codici, dei *dataset* più significativi messi a disposizione del *DISTART* (*Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, dei Trasporti, delle Acque, del Rilevamento del Territorio – Università di Bologna*) e per i quali si ringraziano gli enti gestori.

In particolare le elaborazioni trattate sono:

- Rete *BoPos*: gestita dal *DISTART*, costituita da 12 stazioni, finestra temporale analizzata 415 giorni;
- Rete *ItalPoS*: rete della *Leica Geosystems*, costituita da 131 stazioni, finestra temporale analizzata 212 giorni;
- *RDN*: definita dall'*IGMI* (*Istituto Geografico Militare Italiano*), costituita da 85 stazioni, finestra temporale analizzata 28 giorni;
- Rete *SoGER*: rete della Società Geometri Emilia Romagna, costituita da 15 stazioni, finestra temporale analizzata 775 giorni.

Particolare attenzione è stata rivolta all'elaborazione della Rete Dinamica Nazionale (*RDN*), sfruttando il fatto che il *DISTART* è uno dei centri di calcolo che ha avuto l'incarico di affiancare l'*IGMI* nell'elaborazione, affinché detto ente avesse un riscontro ai propri risultati.

Sono stati attentamente elaborati, non solo i 28 giorni che hanno dato luogo alla prima definizione della *RDN* pubblicata sul sito *IGMI*, bensì sono stati trattati anche ulteriori quattro intervalli temporali di 28 giorni messi, ancora una volta, gentilmente a disposizione dall'*IGMI*. Detta ulteriore elaborazione ha consentito di ottenere un'indicazione, del tutto ufficiosa, relativa alle velocità delle stazioni *RDN*, su spezzoni temporali intercalati di sei mesi e che coprono quindi un intervallo temporale pari a due anni.

Un'altra prova significativa, trattata in queste pagine, è l'inquadramento in *ITRF* (*International Terrestrial Reference Frame*) della rete *SoGER* tramite *RDN*; si consideri infatti che, una delle applicazioni della Rete Dinamica Nazionale, è proprio l'inquadramento di reti *CORS* (*Continuously Operating Reference Stations*) regionali.

2 Fasi di lavoro e strategie di calcolo

Se si analizzano reti di stazioni permanenti di dimensioni nazionali oppure reti locali per lunghi intervalli di tempo, risulta necessario processare migliaia se non decine di migliaia di file, in tali casi è indispensabile implementare procedure automatiche in grado di sollevare l'operatore da una mole di lavoro altrimenti ingestibile.

Si è scelto di suddividere il “Calcolo della posizione delle Stazioni Permanenti” in tre fasi. La prima fase serve a risolvere eventuali problemi che possono interessare i dati, eliminare file che non soddisfano predeterminati standard qualitativi e analizzare l'archivio sia a fini statistici che per estrarre, dagli *header* dei *rinex* (*Receiver INdependent EXchange format*), informazioni indispensabili nella fase di calcolo. La seconda fase è il processamento propriamente detto, generalmente relativo a *file* giornalieri sull'intervallo temporale analizzato, a cui segue una ulteriore fase durante la quale si convertono i risultati in diversi sistemi di coordinate, si creano le serie temporali per ogni stazione e le relative rette di regressione, si filtrano gli *outlier* e si *plottano* i risultati ottenuti. In pratica, la terza fase, si preoccupa principalmente di aumentare la leggibilità dei risultati infatti essa calcola anche dei valori statisticamente significativi da attribuire ad ogni singolo sito e, se si sta analizzando contemporaneamente più di una soluzione (sino a un massimo di tre), calcola le differenze e le differenze normalizzate fra le soluzioni ottenute due alla volta. Infine vengono *plottate* delle mappe ove le stazioni sono rappresentate con dei cerchi la cui area è proporzionale alle citate differenze.

Nei successivi paragrafi dette fasi verranno analizzate in dettaglio.

2.1 Fase 1: Preparazione del dataset

Per quanto riguarda l'archiviazione dei dati satellitari una serie di *standard* sono ormai universalmente accettati (*IGSa*, WP = Web Page = si veda in bibliografia), a titolo di esempio: il formato dei file utilizzato per il salvataggio di detti dati, a prescindere da marca e modello del ricevitore, è il formato *rinex* e il più delle volte si utilizza una sua variante compressa (*hatanaka*); i *rinex* dei diversi siti vengono conservati in archivi suddivisi ad esempio in anni e *doy* (*day of year*); negli *header* dei *rinex* sono conservate una serie di informazioni relative alla strumentazione utilizzata secondo sigle a loro volta *standard* stabilite dall'*IGS* (*International GNSS Service*) e così via. Ciononostante, talvolta a causa di bachi nel *firmware* dei ricevitori satellitari o del *software* con il quale si archiviano i dati, talvolta a causa di imperizia dell'operatore che gestisce i ricevitori, i dati non sono esenti da una serie di problemi che vanno individuati e risolti.

Un tipico problema è l'avere, in luogo di *rinex* giornalieri, spezzoni più o meno lunghi che, in base allo *standard rinex*, si riconoscono dal nome; come già detto, se l'archivio che si intende elaborare è costituito da migliaia o addirittura decine di migliaia di file, è impensabile procedere

manualmente al *merge* degli spezzoni, risulta quindi indispensabile implementare procedure in grado di riconoscere automaticamente la situazione descritta e di lanciare il comando necessario al citato *merge*.

Un esempio di problema causato da un baco del *software* con il quale si archiviano i dati presso il *DISTART*, è il seguente: lo *standard rinex 2.11* prevede che, qualora in un'epoca risultino visibili più di 12 satelliti, l'elenco di detti satelliti sia riportato su due righe piuttosto che una. Il citato *software*, al contrario, non andava a capo in corrispondenza del tredicesimo satellite e ciò faceva sì che i dati successivi a tale epoca venissero persi. Ancora una volta è stato necessario implementare una procedura in grado di individuare l'evento e di porvi rimedio.

A questo proposito è bene sottolineare che la reale difficoltà è l'individuazione del problema non la sua soluzione.

Come già accennato, negli *header* dei *rinex* devono essere riportate informazioni relative alla strumentazione installata nella stazione (modello ricevitore, modello antenna, tipo di dome se presente, eventuale offset, coordinate approssimate, tipologia di dati acquisiti: C/A, P, L1, L2, Doppler, etc.); detti dati sono indispensabili nella fase di calcolo ed è indispensabile anche che negli *header* siano registrate eventuali variazioni apportate allo *hardware* o alla materializzazione con il trascorrere del tempo.

E' opportuno, e per certi codici di calcolo indispensabile, che tali informazioni vengano riportate anche sinteticamente in un file che contiene i dati di tutte le stazioni della rete che si intende calcolare. Questo file ha nome e formato diverso a seconda del *software* scientifico con il quale si opera (nel seguito esso verrà chiamato *station.info* mutuando una delle dizioni adottate).

Occorre che il contenuto dello *station.info* sia allineato con la situazione reale che si è succeduta nel tempo per ciascuna stazione.

Può succedere che l'archivio da sottoporre a calcolo sia privo di *station.info* ma che si abbia la certezza che le informazioni contenute negli *header* dei *rinex* siano corrette; in tal caso risulterà indispensabile implementare una procedura in grado di estrarre le informazioni al trascorrere del tempo dagli *header* e di salvarle in un opportuno file secondo un determinato formato.

Viceversa, può capitare di possedere uno *station.info* allineato con la situazione reale mentre gli *header* dei *rinex* contengono informazioni errate; in questo caso sarà necessario realizzare una procedura in grado di estrarre le informazioni dallo *station.info* per "schiacciarle" su quanto riportato nell'intestazione dei file di dati.

Premesso che per *log* si intende la registrazione cronologica delle operazioni man mano che vengono eseguite e i *file* su cui tali registrazioni sono memorizzate (*Wikipedia*, WP), mentre si compiono le operazioni sin qui descritte, risulta agevole registrare una serie di *log* statistici che, da un lato consentono di valutare la qualità dell'archivio e, dall'altro, sono lo strumento principe per individuare problemi non noti a priori. Altra operazione agevole in questa fase è l'eliminazione di file di dati che non soddisfano predeterminati standard qualitativi. E' possibile applicare filtri dimensionali (scartare file al di sotto di una certa dimensione) oppure filtrare sulla base del numero di epoche contenute nei *rinex* (utilizzando un comando *teqc*).

Le procedure sin qui descritte sono state realizzate in *Fortran* e *csh* (*Linux C-shell*) sfruttando, quando possibile, programmi e procedure preesistenti; naturalmente la scelta del linguaggio è del tutto ininfluenza sul risultato finale.

2.2 Fase 2: Il processamento propriamente detto

2.2.1 Software di elaborazione dati

Assunta come centrale la necessità di calcolare con buona precisione le coordinate delle stazioni permanenti, e viste le operazioni preliminari che è necessario compiere sul *dataset* prima di procedere con il calcolo, si pone il problema di quali possano essere i *software* disponibili che presentino buone attitudini ad affrontare tali calcoli. Esistono sul mercato molteplici *software* capaci di elaborare dati *GNSS* e la principale classificazione avviene tra codici di natura scientifica e codici commerciali. Sebbene in molteplici circostanze tali due classi di *software* forniscano risultati confrontabili, esistono particolari situazioni dove i codici di natura scientifica appaiono più appropriati in quanto prevedono un livello di interagibilità più alta e la possibilità di introdurre elementi ancillari che nella maggior parte dei codici commerciali non è permessa. Il calcolo di grandi reti *GNSS* e/o l'analisi di ampie finestre temporali (mesi o anni) è sicuramente un settore dove i *software* scientifici risultano essere più appropriati. Ciononostante anche all'interno dei codici scientifici si pone il problema di quale tra essi sia il "migliore" o ancor meglio quali siano le differenze tra differenti codici.

Per quanto attiene le attività di ricerca del *DISTART*, si è ritenuto interessante approfondire l'argomento individuando tre dei *software* scientifici più utilizzati e verificando il loro funzionamento sotto molteplici aspetti. In particolare si sono utilizzati i codici: *Bernese* che presenta sia la possibilità di operare in modalità differenziata che nella modalità di *Precise Point Positioning* (*PPP*), *Gamit* che utilizza un approccio differenziato e *Gipsy-Oasis II* che opera principalmente con approccio in modalità *PPP*.

Questa scelta ha innegabili svantaggi, in particolare risultano triplicate le competenze necessarie e l'onere di calcolo, inoltre i risultati dovranno essere standardizzati per poter poi essere confrontati fra loro. A tal proposito si consideri che, il più delle volte, i *software* scientifici richiedono un notevole tempo di apprendistato e che, reti di grandi dimensioni e/o analizzate per grandi intervalli temporali, necessitano di giorni di processamento.

E' altresì vero che molti e assai rilevanti sono i vantaggi.

Innanzitutto, la disponibilità di soluzioni differenti provenienti da diversi *software* a partire da un *dataset* comune, permette di evidenziare le peculiarità e le *performances* di ogni *software*.

Inoltre l'utilizzo contemporaneo di più *software* rende più agevole l'individuazione di problemi che possono eventualmente affliggere uno di essi; a titolo di esempio si cita l'esistenza di un "baco" del codice *Bernese* in un modello di correzione di un sistematismo individuato da un ricercatore italiano (Biagi et al., 2005; Biagi et al., 2006); detto errore (che a onor del vero

introduceva una modesta distorsione) non poteva essere messo in evidenza altrimenti che controllando il codice, operazione questa palesemente disagiata.

Infine, l'approccio scelto, consente di evidenziare alcuni problemi legati alle elaborazioni dati eseguite in modalità automatica o semiautomatica. Come più volte detto, le reti di stazioni permanenti consentono di disporre di enormi moli di dati che non sono elaborabili in modo manuale. Tutti i codici di tipo scientifico consentono, a diversi livelli, di automatizzare le procedure di calcolo, allestendo appositi *script*. Tale aspetto rende sistematica l'elaborazione giornaliera, settimanale, etc. e se i parametri sono correttamente impostati porta a soluzioni stabili e precise. Il lato negativo di tali approcci nasce quando uno o più parametri che caratterizzano lo *script*, contengono informazioni non corrette (tipo di antenna o ricevitore difforme da quella reale, ...). In tali casi, i processamenti automatici producono soluzioni che risulteranno sistematicamente diverse da quelle reali. Tali errori possono essere anche considerevoli (qualche centimetro in quota) e non sono individuabili in alcun modo a posteriori. Utilizzare codici differenti, operatori differenti e modalità di calcolo differenti, costituisce quindi un controllo capace da un lato di stimolare la ricerca di approcci sempre più corretti, e dall'altro di individuare eventuali problemi.

Del resto è ben noto che la stessa *IGS* per la definizione del proprio sistema di riferimento mondiale utilizza non un solo centro di calcolo e non un solo codice, inoltre molti centri di calcolo di rilevanza internazionale (*SOPAC*, *IFAG*, *JPL*, etc...) utilizzano codici differenti convergendo a soluzioni confrontabili e combinabili. A tal proposito si consideri infine che la scelta di utilizzare contemporaneamente più codici è stata adottata in passato per realizzare infrastrutture geodetiche (e.g. Craymer, Piraszewski, 2001; Jivall et al., 2005) e per scopi tettonici o geodinamici (e.g. Dietrich et al., 2001; Even-Tzur et al., 2004; Geirsson et al., 2006; Kierulf et al., 2008; Kierulf et al., 2009; Simons et al., 1999; Teferle et al., 2008; Zakarevičius et al., 2008; Zanutta et al. 2008; Capra et al. 2008).

2.2.2 Strategie di calcolo

L'esperienza compiuta nel calcolo di reti tramite diversi *software* scientifici, ha permesso di concludere che, le principali differenze che si possono riscontrare, sono imputabili ai diversi approcci impiegati nell'impostare le equazioni alle osservazioni. Un approccio consiste nel calcolare preventivamente le differenze delle osservazioni di fase in modo da differenziare (e quindi ridurre o eliminare) gli effetti sistematici sulle misure di fase e di procedere al calcolo con complesse strategie basate comunque sull'osservabile doppia differenza. Come accennato, *software* che hanno adottato almeno inizialmente questo approccio sono il *Bernese* e il *Gamit*; si noti che poiché le osservazioni sono ricondotte sostanzialmente a misure relative a basi dipendenti, la soluzione che si ottiene è di rete e viene valutata la correlazione tra le coordinate di tutti i punti.

Un approccio del tutto diverso, detto "indifferenziato", consiste nell'assumere, come osservazioni da compensare direttamente, le fasi ed i codici misurate da un ricevitore e procedere

alla stima dei modelli di correzione per tutti i parametri incogniti; la soluzione procede separatamente per ciascun punto, vengono meno le correlazioni tra punti diversi e il calcolo risulta notevolmente più breve. Tale approccio è utilizzato da sempre dal *software Gipsy* e comincia ad essere implementato anche in altri ambienti *software*.

In tutti i casi, anche se con modalità e significati differenti, un primo calcolo viene eseguito intrinsecamente, assegnando in input una larga indeterminazione alle coordinate approssimate (ciò è rigorosamente vero solo per gli approcci “differenziati”). Successivamente si effettua l’inquadramento della rete che dal punto di vista tecnico, è realizzato tramite una roto traslazione (Trasformazione di Helmert) applicata alle coordinate derivanti dal calcolo intrinseco per adattare alle coordinate note dei vertici d’inquadramento, al meglio (con approcci basati sui minimi quadrati).

Nel tempo, ovviamente, sono state utilizzate diverse versioni dei vari *software*, l’ultimo calcolo è stato effettuato con le seguenti versioni:

- *Bernese* Versione 5.0 (*BSW50*)
- *Gamit* Versione 10.35
- *Gipsy-Oasis II* Versione 5.1

Nei successivi paragrafi le 3 strategie di calcolo verranno analizzate con maggiore dettaglio.

2.2.2.1 Bernese

Per quanto riguarda il *Bernese*, sviluppato dall’AIUB (*Astronomical Institute, University of Berne, Switzerland*), si è adottata la procedura di processamento in automatico (*Bernese Processing Engine, BPE*) tramite la definizione di un *PCF* (*Process Control File*), seguendo la strategia definita nel *RNX2SNX file*, basata sulla differenziazione del segnale (Dack et al., 2007; Hugentobler et al., 2006).

Sono state utilizzate le orbite precise *IGS* e i parametri di rotazione terrestre, forniti direttamente dall’*IGS*.

I codici delle osservazioni sono stati impiegati nella fase iniziale di elaborazione, per il calcolo della sincronizzazione degli orologi dei ricevitori.

La geometria delle singole reti giornaliere è stata definita in modo automatico selezionando un numero di basi non ridondanti, adottando come criterio quello di prediligere la minima distanza relativa tra stazioni con osservazioni contemporanee. Il *Bernese* non ha limiti intrinseci sul numero di punti che sostituiscono la rete oggetto di calcolo.

Le singole differenze sono state sottoposte a una procedura volta all’individuazione e ripristino di interruzioni nell’acquisizione del segnale (*Cycle Slip*), eliminando *outlier* ed inserendo nuove ambiguità una volta riscontrate interruzioni significative.

La stima delle coordinate delle stazioni è stata ottenuta utilizzando la combinazione lineare L3 ad ambiguità fissate, la funzione mappante *Dry-Niell* (Niell, 1996), il modello di *ocean loading*, i modelli di calibrazione assoluta del centro di fase delle antenne e stimando i parametri troposferici per ogni stazione e per ogni ora del giorno.

Mediante il *software Bernese* è possibile seguire vari approcci per il calcolo e l'inserimento della rete in un determinato *DATUM*.

L'inquadramento delle reti calcolate nel sistema *ITRF 2005* è stato realizzato adottando come fisse le coordinate di 13 stazioni permanenti *IGS*, stimando, sulla base delle coordinate a priori propagate all'epoca di riferimento e alle equazioni normali determinate nel calcolo precedente, i parametri di roto traslazione geocentrici (Altamimi et al., 2007).

Le coordinate delle stazioni adottate come riferimento così come le loro velocità di movimento derivano dall'ultimo calcolo del *ITRF 2005* (*ITRF 2005*, WP).

2.2.2.2 Gamit/Globk/Glorg

Il *software Gamit* (Herring et al., 2009a; Herring et al., 2009b) analizza, in modo automatico, le osservazioni provenienti da una rete di stazioni permanenti *GPS* (*Global Positioning System*) per ottenere una stima ad alta precisione della posizione delle diverse stazioni ed, eventualmente, delle effemeridi dei satelliti e dei parametri di rotazione terrestre (*EOP*). Questo software è stato realizzato dal *Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences* del *MIT* (*Massachusetts Institute of Technology*) per analisi a scopo scientifico di reti costituite da un grande numero di stazioni distribuite in modo eterogeneo nello spazio.

La procedura di calcolo utilizza principalmente le osservazioni di fase acquisite nell'arco delle 24 ore (sessione giornaliera) con un passo di campionamento di 30 secondi. L'uso di questo tipo di osservabili consente di raggiungere, nella stima delle posizioni, precisioni dell'ordine del millimetro, ma in fase di calcolo si impone la stima di ulteriori parametri come le ambiguità di fase e i salti di ciclo (Teunissen e Kleusberg, 1998). Esistono diverse strategie di calcolo per la stima di questi parametri in cui le osservazioni di fase, eseguite nelle due frequenze *GPS*, vengono combinate in modo differente. Il tipo di combinazione da utilizzare è scelta dall'utente, in particolare, per i risultati presentati in questo lavoro si è scelta la combinazione definita *LC_AUTCLN* (Herring et al., 2009a), consigliata dagli autori del programma. Vista la dimensione regionale delle reti analizzate, in questo lavoro si è scelto, nella strategia di calcolo, di stimare solamente la posizione di tutte le stazioni, utilizzando per le effemeridi e i parametri di rotazione terrestre i valori precisi forniti dagli enti internazionali preposti (*IGSb*, WP); il centro di fase delle antenne viene modellato utilizzando la calibrazione assoluta fornita dai medesimi enti (*IGSc*, WP). La strategia di calcolo impone l'inserimento di una stima iniziale delle posizioni dei diversi siti (coordinate a priori) e di un vincolo, in termini di distanza, che rappresenta una stima di quanto si ritiene corretta questa posizione iniziale. Per quanto riguarda le elaborazioni i cui risultati saranno illustrati in questo lavoro, è stato scelto di utilizzare un vincolo basso (10 metri) su tutte le stazioni considerate, questo tipo di scelta viene solitamente definita "soluzione libera". Le posizioni dei diversi siti calcolate utilizzando la strategia "soluzione libera" sono riferite al sistema di riferimento in cui vengono fornite le orbite precise dei satelliti. Questo sistema di riferimento però varia da giorno a giorno, per questo motivo, al fine di studiare l'evoluzione nel tempo della posizione di una stazione, è necessario inquadrare

tutte le soluzioni giornaliere nello stesso sistema di riferimento. Questa fase è svolta dal pacchetto *GlorG* (Herring et al., 2009b) mediante una trasformazione di similarità, utilizzando un numero di parametri da un minimo di 3 ad un massimo di 14 secondo le indicazioni dell'utente. In questo lavoro si è scelto di utilizzare una trasformazione di similarità a 7 parametri (Trasformazione di Helmert, 3 traslazioni, 3 rotazioni ed un fattore di scala) per inquadrare le soluzioni giornaliere nel sistema di riferimento *ITRF 2005* (Altamimi et al., 2007). Questa operazione viene eseguita utilizzando le coordinate e le velocità fornite dall'*IGS* di 13 stazioni permanenti. Nel caso si scelga di suddividere la rete iniziale in diverse sotto-reti (*cluster*) per mantenere una dimensione spaziale limitata oppure per un numero eccessivo di siti (il software *Gamit* non esegue il calcolo su reti costituite da un numero di stazioni superiore a 99) è possibile combinare insieme tra loro le soluzioni giornaliere non inquadrare mediante il software *Globk* (Herring et al., 2009b). Questo tipo di calcolo, definito “procedura di analisi distribuita”, consente di unire le diverse soluzioni mediante un approccio ai minimi quadrati, utilizzando le coordinate ed eventualmente le velocità di un certo numero di siti (almeno 3) comuni a tutte le sotto-reti.

2.2.2.3 Gipsy-Oasis II

Il *Precise Point Positioning* (*PPP*), sviluppato al *Jet Propulsion Laboratory* (*JPL*, *NASA*) verso la fine degli anni novanta ed implementato con il software di elaborazione *Gipsy-Oasis II*, si differenzia sostanzialmente dal *Single Point Positioning* (*SPP*) per il tipo di dato *GPS* e di orbite dei satelliti *GPS* (effemeridi e correzioni degli orologi dei satelliti) utilizzati nell'elaborazione (Zumberge et al., 1997; Kouba, Heroux, 2000). Mentre nel *SPP* si utilizza prevalentemente il dato di codice e le orbite trasmesse, con il *PPP*, la posizione del singolo ricevitore è determinata a posteriori, utilizzando osservazioni di fase e di codice non differenziate e le orbite precise, ottenute dall'analisi di una rete globale e caratterizzate da una accuratezza centimetrica. Attraverso adeguati modelli di correzione si riduce l'influenza sul posizionamento degli effetti relativistici, di effetti sistematici dovuti allo spostamento del sito (movimenti delle placche tettoniche, maree della Terra solida, ecc.) e degli errori legati all'assetto del satellite (*offset* tra centro di massa del satellite e centro di fase dell'antenna, progressivo aumento della fase dovuto alla rotazione relativa tra le antenne del satellite e del ricevitore, ecc.). Gli altri sistematismi, quali i ritardi di propagazione del segnale in atmosfera (ionosfera e troposfera) vengono invece stimati durante la fase di elaborazione dati.

Attualmente con il *PPP* è possibile determinare la posizione del singolo ricevitore con accuratezze paragonabili a quelle ottenibili con le tradizionali tecniche di posizionamento relativo *GPS* di alta precisione.

L'approccio utilizzato consente di inquadrare il punto nel sistema di riferimento delle orbite precise elaborate dall'*IGS*.

Infine, con il *PPP* le derive degli orologi dei satelliti e dei ricevitori vengono modellizzate attribuendo loro un comportamento stocastico descritto da un andamento *random walk*.

La posizione del punto viene anch'essa stimata imponendo alle coordinate comportamenti stocastici, tipo *white noise* per soluzioni statiche o *random walk* per rilievi in modalità cinematica. Tra gli aspetti svantaggiosi si riporta come la precisione ed accuratezza del punto dipenda fondamentalmente dalla durata dell'osservazione. Negli approcci differenziati invece un parametro fondamentale è la lunghezza della base. Per basi corte infatti la precisione del risultato può essere elevata anche se la durata della finestra comune di osservazione è breve.

Per quanto riguarda le serie temporali di una stazione, le soluzioni ottenute mediante approccio *PPP* e approccio differenziato sono sostanzialmente simili (Negusini et al. 2005).

Le soluzioni ottenute dall'approccio *PPP* presentano di fatto una dispersione superiore alle altre. Tale aspetto può essere drasticamente ridotto inquadrando ulteriormente la rete nel caso si siano eseguite stime di posizione *PPP* sui punti della rete di inquadramento. In altre parole, una soluzione *PPP* ottenuta su una stazione per un giorno, sarà parzialmente correlata alla soluzione *PPP* di una seconda stazione sita in prossimità della prima, per via del fatto che entrambe vengono stimate a partire da orbite e modelli comuni (ionosferici etc.). Tale correlazione può dunque essere stimata e corretta per le stazioni incognite imponendo tecniche di inquadramento basate sul calcolo di parametri di trasformazione.

Le coordinate giornaliere ottenute con il processamento *PPP*, sono trasformate grazie a una roto traslazione a 7 parametri realizzata utilizzando lo script *Gipsy stacov2x* e i *sinex* (*Solution INdependent EXchange Format*) *IGS* delle 13 stazioni di inquadramento.

Il *DISTART* ha implementato uno script in linguaggio *Perl* che permette un processamento completamente automatico e consente la suddivisione dell'intero *dataset* in 4 differenti *thread* (sottoprocessi) che possono essere eseguiti, su hardware che lo consentono, in parallelo, riducendo drasticamente i tempi di calcolo. Detto script, al momento, non utilizza nessuna procedura di calcolo delle ambiguità (come *Ambigon* o *Ambizap*) e non ne consente l'applicazione a posteriori. Un *upgrade* della procedura in tal senso è sotto analisi per test futuri in quanto, dalla letteratura, risulta che il calcolo delle ambiguità, che va applicato dopo il processamento *PPP*, comporta una riduzione della dispersione delle soluzioni senza aumentare drasticamente i tempi di calcolo (Blewitt G., 2008).

2.2.3 Parametri di calcolo comuni

Occorre osservare che ciascuno degli ambienti software scientifici disponibili ha una specifica comunità che lo impiega sistematicamente, formatasi per tipologia di applicazione (geofisica, geodetica, orbito grafica, tecnologica) ma anche per prossimità alla struttura che realizza e aggiorna il codice. Gli utenti di un codice, il più delle volte, seguono le indicazioni di chi ha sviluppato o sta sviluppando il codice stesso, ad esempio per quanto attiene l'utilizzo e l'acquisizione delle informazioni di corredo indispensabili all'elaborazione. Infatti, per l'elaborazione, è necessario acquisire parecchi dati ancillari, quali le orbite precise, i parametri di orientamento della terra, le maree terrestri, il moto del Polo. Inoltre è necessario definire una serie

di parametri utili a correggere effetti sistematici che hanno perturbato i dati acquisiti, quali ad esempio i modelli per l'effetto ionosferico e troposferico.

Il problema della strategia di calcolo è però un aspetto geodetico ed è quindi opportuno utilizzare strategie comuni pur utilizzando codici differenti.

Per effettuare i calcoli con software diversi si è quindi avuto cura di uniformare per quanto possibile i parametri e i modelli adottati: le ultime versioni dei codici impiegati hanno consentito di raggiungere un ottimo livello di omogeneità dei parametri utilizzati, per quanto ha senso tenuto conto dei diversi approcci.

Considerato che tutte le reti analizzate insistono sul territorio nazionale e che una di esse è una densificazione della *European Permanent Network EPN*, per uniformare i parametri di calcolo, come traccia, sono state utilizzate le linee guida *EUREF* (*EUREFa*, WP; *EUREFb*, WP) che contengono le risoluzioni approvate dall'*EUREF Technical Working Group TWG*. Dette risoluzioni devono essere seguite da tutti coloro che intendono partecipare alla densificazione della *EPN*, in parte sono mandatarie e in parte sono semplici raccomandazioni (si veda Tab 2.1 e Tab 2.2).

<i>Parameters or models</i>	<i>Value</i>	<i>From GPS WEEK</i>	<i>To GPS WEEK</i>
Antenna Phase Center Corrections	Specification: Use elevation dependent phase center correction values adopted by IGS.	860	
Observation Cut Off Angle	10°	1130	
Observation Weighting	Apply elevation dependent weighting to the observations. AC's which cannot use an elevation dependent weighting scheme are advised to continue using a 15° elevation cut off angle	1130	
GPS Satellite Orbits	Use IGS or CODE orbits	860	1129
GPS Satellite Orbits	IGS Final Orbits.	1130	
Orbits and Earth Orientation Parameter Consistency	GPS satellite orbits and earth orientation parameters have to be consistent.	860	
Tidal Displacements	Apply ocean loading corrections for the stations	1130	
Troposphere Mapping Function	Niell Mapping Function	1130	

Tabella 2.1 – Parametri e modelli mandatarie dell'*EUREF TWG*

Per quanto riguarda la definizione del “disegno della rete”, ossia il criterio con cui creare le basi, l'*EUREF TWG* non ha previsto raccomandazioni. I due più diffusi criteri sono la “minima distanza” e la ricerca delle “massime osservazioni comuni”. Gli sviluppatori di *Gamit* hanno previsto solo l'utilizzo del primo dei citati criteri, di conseguenza, si è impostato anche il *Bernese* affinché utilizzi detto criterio. Per quanto attiene a *Gipsy* la stima viene eseguita singolarmente per ogni giorno su ogni singolo sito in modo autonomo, di conseguenza, a questo livello, non devono essere prese decisioni.

<i>Parameters or models</i>	<i>Value</i>	<i>From</i>	<i>To</i>
Ambiguity fixing	Fix the ambiguities in the final solution.	860	
Observation Cut Off Angle	15°	860	1129
Observation Sampling Rate	Use an observation sampling rate of 180 sec for the final parameter estimation.	860	
RMS in SINEX files	Specification: If you use Bernese GPS Software include the RMS of unit weight, number of unknowns and number of observations in weekly SINEX file generation.	1130	
Number of Troposphere Parameters	Estimate one troposphere parameter for every 2 hours for each station.	860	1129
Number of Troposphere Parameters	Estimate hourly troposphere parameters for each station. This option is mandatory for ACs contributing to the Troposphere Special Project	1130	
Troposphere Parameter Reference	Specification: Save the estimated troposphere parameters in the daily normal equation files. Generate a weekly coordinate solution. Re-generate the daily troposphere parameter solutions with fixing the weekly coordinates (coordinate “re-substitution”).	1130	
Global Troposphere Parameters	Specification: Introduce the troposphere parameter estimates of the global network solution as a-priori values.	1130	
Global Troposphere Parameters	No introduction of global troposphere parameter estimates (delete version A of this option).	1130	
A Priori Weight of Troposphere Parameters	Specification: Use 10 cm respect. 5 m a priori weight for the absolute respect. Relative parameters.	860	
A Priori Weight of Troposphere Parameters	Specification: Use 5 m a priori weight for the absolute and relative parameters.	860	

Tabella 2.2 – Parametri e modelli raccomandati dall’EUREF TWG

La strategia di calcolo “indifferenziata” adottata da Gipsy, non permette l’applicazione di tutte le raccomandazioni dell’EUREF TWG, ciononostante è stato possibile definire una strategia comune (si veda Tab 2.3) in grado di garantire che i dati ancillari e i parametri fisici adottati non costituiscano fonte di diversificazione tra le soluzioni ottenute con i diversi software.

In Tab 2.3 si è specificato, tra l’altro, che vengono utilizzate delle coordinate a priori comuni. Per la loro determinazione è possibile compiere un’elaborazione preliminare con il pacchetto *Gamit* su un limitato campione temporale (2/3 settimane di dati a seconda dei casi), utilizzando in questa fase, come coordinate a priori, quelle presenti nell’intestazione dei file *rinex*. Le diverse soluzioni giornaliere ottenute, vengono poi combinate insieme utilizzando il programma *Globk* (Dong et al., 1998) che sfrutta un approccio ai minimi quadrati e quindi consente di ottenere una buona stima delle coordinate di ciascuna stazione. Naturalmente è anche possibile effettuare l’elaborazione con uno qualsiasi dei software di calcolo (preferibilmente *Gipsy* che dei tre è il più veloce) su un limitato campione temporale ed effettuare la media dei risultati ottenuti. Si è certi che non è richiesta un’elevata precisione delle coordinate a priori in quanto si è verificato che, coordinate a priori volontariamente errate di alcune decine di centimetri, non cambiano in alcun modo il risultato finale. E’ comunque preferibile adottare una delle strategie qui descritte in quanto, le coordinate presenti negli *header* dei *rinex*, spesso sono di “solo codice” e quindi, il loro utilizzo, potrebbe allungare in modo sensibile i tempi di calcolo.

	Bernese	Gamit	Gipsy
Reference Frame	ITRF 2005	ITRF 2005	ITRF 2005
A priori coordinates	Common	Common	Common
Elevation mask	10°	10°	10°
Final Solution	Lc	Lc	Lc-Pc
Orbit Computation	No	No	No
Terrestrial parameter computation	No	No	No
RMS a priori for reference coordinates	10m	10m	Not applicable
Orbits and terrestrial parameters	Final IGS	Final IGS	Final IGS
Antenna Phase center Variation	Igs05_www.atx	Igs05_www.atx	Igs05_www.atx
Tropospheric model	Saastamoinen (1972)	Saastamoinen (1972)	Saastamoinen (1972)
Troposphere Mapping function	Niell (1996)	Niell (1996)	Niell (1996)
Tidal Displacements	Apply ocean loading corrections for the stations	Apply ocean loading corrections for the stations	Apply ocean loading corrections for the stations
Ambiguity resolution	Yes	Yes	No
Criteria for Single difference creation	Minimum distance	Minimum distance	Not applicable
Framing strategy	7 parameter transformation	7 parameter transformation	7 parameter transformation

Tabella 2.3 – Parametri comuni

2.2.4 Stazioni di inquadramento

Un problema, qualora si calcolano reti di stazioni permanenti, consiste nell'individuare quali e quante stazioni di riferimento utilizzare per l'inquadramento nel/i sistema/i di riferimento desiderati. Per quanto attiene il contesto italiano emergono due sistemi di riferimento dai quali non si può prescindere: *ITRS* (*International Terrestrial Reference System*) e *ETRS* (*European Terrestrial Reference System*). L'*ITRS* trova la sua realizzazione nei *frames ITRF_{yy}* calcolati dallo *IERS* (*International Earth rotation and Reference system Service*) a partire da *frames* a loro volta determinati nel sistema *IGS* (e quindi solo con tecniche satellitari *GPS*) e combinati con le soluzioni provenienti da altre tecniche di posizionamento. L'*ETRS* viene invece definito dalla rete *EPN* (*European Permanent Network*) calcolata inizialmente nel sistema *ITRS* e poi “depurata” dal moto medio della placca Euro-Asiatica.

In Italia e nelle nazioni limitrofe sono collocate molteplici stazioni *GNSS* permanenti che in alcuni casi sono appartenenti sia alla *tracking network IGS* sia alla rete *EPN* dell'*EUREF*. Di queste stazioni esistono (e vengono distribuite dagli enti preposti) le coordinate e le velocità sia nel sistema *ITRS* che nel sistema *ETRS*. Ai fini del calcolo di reti di stazioni permanenti non è necessario né che le stazioni di riferimento siano ad altissima densità né che esse siano particolarmente prossime alla rete da dover calcolare. Quando si dispone di ampie finestre di osservazione giornaliere prolungate per mesi o addirittura anni, gli approcci per il calcolo delle reti, consentono di raggiungere le più alte precisioni ed accuratezze anche con basi di qualche centinaio di chilometri.

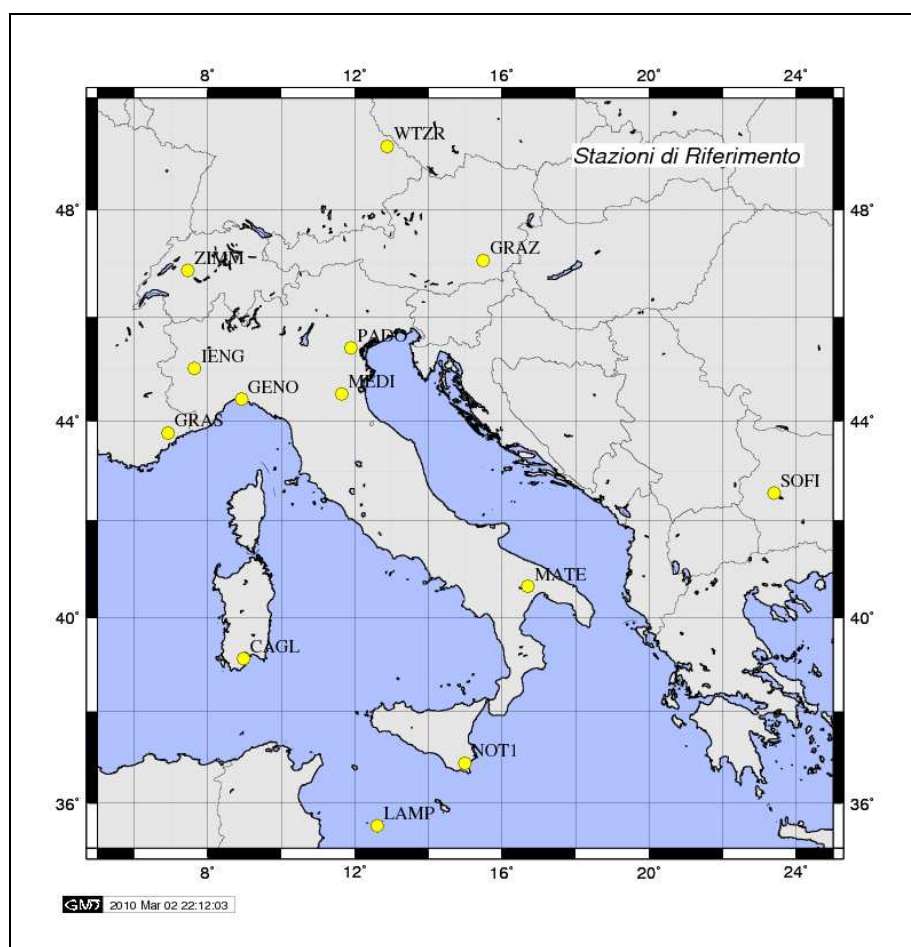


Figura 2.1 – Rete di inquadramento costituita da stazioni contemporaneamente IGS e EUREF

Con tali premesse ci si è chiesto quali fossero le stazioni più idonee a consentire il calcolo di una rete di stazioni permanenti collocata in una qualsiasi parte d'Italia. Tali stazioni sono dunque stazioni *IGS* ed *EUREF* delle quali sono quindi note coordinate e velocità nei rispettivi sistemi di riferimento. Ultimo vincolo che si è considerato è l'appartenenza alla recentemente nata Rete Dinamica Nazionale *RDN* (*IGMIa*, WP). Si è infatti verificato che, tali stazioni, fossero presenti anche in tale rete, in modo da essere allineati con le scelte dell'Istituto Geografico Militare in quanto *RDN* è di fatto l'infrastruttura di base per l'emanazione del nuovo sistema di riferimento nazionale. L'elenco delle 13 stazioni considerate comprende CAGL, GENO, GRAS, GRAZ, IENG, LAMP, MATE, MEDI, NOT1, PADO, SOFI, WTRZ, ZIMM (si veda Fig 2.1 e Tab 2.4).

Four Character ID	Site Name
CAGL	Cagliari - Astronomic Station
GENO	Genova - Istituto Idrografico della Marina
GRAS	Observatoire de Calern - OCA
GRAZ	Graz - Lustbuehel
IENG	Torino
LAMP	Lampedusa - Capitaneria di Porto
MATE	Matera
MEDI	Medicina (BO)
NOT1	Noto-Radioastronomy Station of C.N.R.
PADO	University of Padova, Center for Space
SOFI	Sofia / Bulgaria
WTRZ	Wettzell / Germany
ZIMM	Zimmerwald L+T 88

Tabella 2.4 – Elenco delle 13 stazioni di inquadramento scelte

2.3 Fase 3: Post trattamento e rappresentazione dei risultati

A migliaia, se non decine di migliaia, di *rinex* che costituiscono gli archivi, corrispondono naturalmente migliaia di risultati, a maggior ragione se si considera che, in luogo di una soluzione, se ne hanno tre (una per ogni *software* impiegato). Sarà quindi necessario compiere una lunga serie di operazioni, gioco-forza integralmente automatizzate, finalizzate principalmente ad aumentare la leggibilità di detti risultati. Si è quindi implementata una procedura di nome “4PG” (*Procedura Post Processamento Pro Grafici*) costituita da una trentina di “sottoprocedure” che possono essere eseguite tutte o in parte tramite l’utilizzo di un singolo comando. La “4PG” prevede il confronto di soluzioni provenienti da *software* diversi ma, naturalmente, possono essere confrontate due o tre soluzioni ottenute dallo stesso *software* in condizioni differenti; è possibile infine analizzare una sola soluzione ma, in tal caso, non verranno eseguite le operazioni di confronto fra soluzioni. Questa procedura, come quelle descritte nella “Fase I” (si veda Cap 2.1), è stata realizzata in *Linux C-shell* e *Fortran* utilizzando anche alcuni *script* di *Gipsy* e *Gamit*. I risultati grafici sono ottenuti tramite *Gnuplot* e *GMT*.

Come accennato in precedenza, affinché i risultati ottenuti dai tre *software* siano agevolmente confrontabili fra loro, è stato innanzitutto necessario standardizzare gli output. Si è scelto il formato *SINEX* (*Solution INdependent EXchange Format*) che, insieme al formato *RINEX* (*Receiver INdependent EXchange Format*), è uno *standard* internazionalmente riconosciuto.

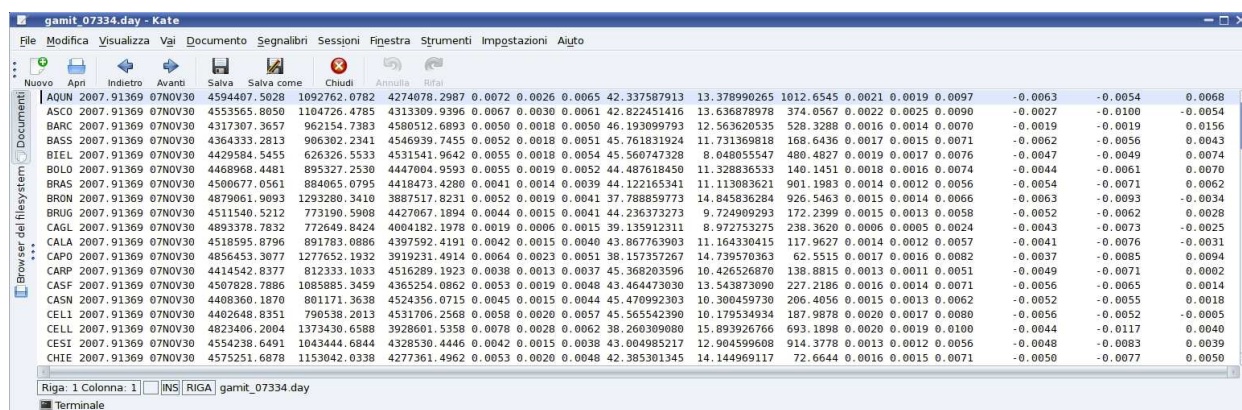
Il calcolo fornisce, per ogni giorno dell’intervallo temporale considerato, una soluzione risultante dalla compensazione di tutte le osservazioni disponibili per quel giorno, cioè le coordinate compensate di tutti i punti presenti quel giorno nella rete, nonché i parametri che descrivono la indeterminazione di posizione quale deriva dalla congruenza delle misure nell’arco della

giornata. I *sinex* sono quindi giornalieri e contengono le coordinate cartesiane geocentriche (X,Y,Z) e la matrice di varianza/covarianza di tutte le stazioni funzionanti giorno per giorno, insieme a una lunga serie di informazioni “accessorie” (a titolo di esempio è descritta la strumentazione presente in ogni singola stazione). Quanto detto è vero esclusivamente per le due soluzioni “differenziate”; in *Gipsy*, invece, ciascuna stazione viene elaborata indipendentemente dalle altre, non si ottiene una soluzione di rete, ovvero non sono date le correlazioni tra le coordinate delle stazioni: la matrice di varianza risulta così diagonale a blocchi.

2.3.1 Trasformazioni

La prima operazione che si è ritenuto opportuno compiere è la trasformazione delle coordinate cartesiane geocentriche (X,Y,Z) estratte dai *sinex* giornalieri, in coordinate geografiche (ϕ, λ, h) e in coordinate geodetiche locali calcolate rispetto a dei valori impostati come iniziali ($\Delta N, \Delta E, \Delta U$), il tutto con propagazione della matrice di covarianza. La prima trasformazione è stata ottenuta sfruttando due *script Gipsy* (*sinex2stacov* e *statistics*), il primo dei quali si limita a convertire il formato *sinex* in un formato proprietario *Gipsy* del tutto equivalente (il formato *stacov*), mentre il secondo effettua la conversione vera e propria. Per il passaggio da coordinate geografiche a geodetiche locali, come coordinate iniziali, sono state utilizzate le coordinate a priori date in *input* ai tre *software* nella fase di calcolo propriamente detta (si veda Cap 2.2.3); la conversione è stata effettuata tramite una procedura in *fortran* appositamente realizzata (*realizza_day.f*) che si preoccupa anche di generare dei file giornalieri “riassuntivi” contenenti rispettivamente:

- il nome della stazione;
- il giorno a cui il file si riferisce sia per esteso che in *decimal year*;
- le coordinate cartesiane geocentriche e le relative deviazioni standard date in *output* dai vari *software* (che d’ora innanzi verranno chiamate “indeterminazioni formali”);
- le coordinate geografiche e le relative deviazioni standard;
- le coordinate geodetiche locali.



Stazione	Data	X	Y	Z	σ _X	σ _Y	σ _Z	σ _{ΔN}	σ _{ΔE}	σ _{ΔU}
AQUIN	2007.91369 07NOV30	4594407.5628	1092762.0782	4274078.2987	0.0072	0.0026	0.0065	42.337587913	13.378990265	1012.6545
ASCO	2007.91369 07NOV30	4553565.8850	1104726.4785	4313309.9396	0.0067	0.0030	0.0061	42.822451416	13.636878978	374.0567
BARC	2007.91369 07NOV30	4317307.3657	962154.7383	4580512.6893	0.0050	0.0018	0.0050	46.193099793	12.563620535	528.3288
BASS	2007.91369 07NOV30	4364333.2813	906302.2341	4546939.7455	0.0052	0.0018	0.0051	45.761831924	11.731369818	168.6436
BIEL	2007.91369 07NOV30	4429584.5455	626326.5533	4531541.9642	0.0055	0.0018	0.0054	45.560747328	8.048055547	480.4827
BOLO	2007.91369 07NOV30	4468968.4481	895327.2530	4447004.9593	0.0055	0.0019	0.0052	44.487618458	11.328836533	140.1451
BRAS	2007.91369 07NOV30	4500677.0561	884065.0795	4418473.4280	0.0041	0.0014	0.0039	44.122165341	11.113083621	901.1983
BRON	2007.91369 07NOV30	4879061.9093	1293280.3410	3887517.8231	0.0052	0.0019	0.0041	37.788859773	14.845836284	926.5463
BRUG	2007.91369 07NOV30	4511540.5212	773190.5908	4427067.1894	0.0044	0.0015	0.0041	44.236373273	9.724989293	172.2399
CAGL	2007.91369 07NOV30	4893378.7832	772649.8424	4004182.1978	0.0019	0.0006	0.0015	39.135912311	8.972753275	238.3620
CALA	2007.91369 07NOV30	4518595.8796	891783.0886	4397592.4191	0.0042	0.0015	0.0040	43.867763903	11.164330415	117.9627
CAPO	2007.91369 07NOV30	4856453.3077	1277652.1932	3919231.4914	0.0064	0.0023	0.0051	38.157357267	14.739570363	62.5515
CARP	2007.91369 07NOV30	4414542.8377	812333.1033	4516289.1923	0.0038	0.0013	0.0037	45.366203596	10.426526870	138.0815
CASF	2007.91369 07NOV30	4507820.7806	1085805.3459	4365254.0862	0.0053	0.0019	0.0048	43.464473030	13.543873090	227.2186
CASN	2007.91369 07NOV30	4408360.1870	801171.3638	4524356.0715	0.0045	0.0015	0.0044	45.470992303	10.308459730	206.4056
CELL	2007.91369 07NOV30	4402648.8351	790538.2013	4531706.2568	0.0058	0.0020	0.0057	45.565542390	10.179534334	187.9878
CELL	2007.91369 07NOV30	4823406.2004	1373430.6588	3928601.5358	0.0078	0.0028	0.0062	38.260309080	15.893926766	693.1898
CESI	2007.91369 07NOV30	4554238.6491	1043444.6844	4328530.4446	0.0042	0.0015	0.0038	43.004985217	12.904599608	914.3778
CHIE	2007.91369 07NOV30	4575251.6878	1153042.0338	4277361.4962	0.0053	0.0020	0.0048	42.385301345	14.144969117	72.6644

Figura 2.2 – Esempio di file “*.day”

Il nome di detti *file* è del tipo:

soluz_yydddd.day (e.g. *gamit_07334.day*)

i primi 5 caratteri identificano la soluzione (che, qualora si confrontano le soluzioni dei tre *software*, coincide con il nome di uno di essi), seguono 2 cifre per l'anno e 3 cifre per il *doy*, l'estensione è “*.day” a indicare, appunto, che i file sono giornalieri (in Fig 2.2 si riporta un esempio di file “*.day”).

2.3.2 Serie temporali e rette di regressione

Successivamente vengono create le serie temporali dei diversi siti, cioè si passa, dai poc'anzi citati *file* giornalieri, a *file* contenenti gli stessi dati ma uno per ogni sito al trascorrere del tempo.

Il nome di detti file è del tipo:

soluz_site.all (e.g. *gamit_arez.all*)

come in precedenza i primi 5 caratteri identificano la soluzione, mentre i successivi 4 identificano la stazione, l'estensione è “*.all” a indicare che detti file contengono tutti i dati relativi alla stazione.

Il passaggio successivo prevede il calcolo delle rette di regressione lineare pesate per ogni sito nei tre sistemi di coordinate (XYZ, $\phi\lambda h$ e NEU; nel seguito, per brevità, con NEU, ci si riferirà al sistema geodetico locale rispetto alle coordinate a priori). Di ciò si occupa una procedura *fortran* (*rigetto3sigma1.f*) in parte basata sulle librerie *Numerical Recipes* che, oltre al calcolo delle rette di regressione, effettua il filtraggio degli *outlier*; vengono rigettati i punti con almeno una coordinata che differisce dal valore stimato per più di tre volte la deviazione standard attorno alla retta di regressione; il tutto esclusivamente sulle componenti geocentriche. Questa fase effettua cicli iterativi che prevedono il ricalcolo della retta di regressione dopo l'eliminazione di ogni *outlier*.

Gli *output* di *rigetto3sigma1.f* sono molteplici:

- *soluz_site.clear* (e.g. *gamit_arez.clear*): contiene tutti i punti non rigettati (con la formattazione descritta in precedenza parlando dei file “*.day”);
- *soluz_site.rig* (e.g. *gamit_arez.rig*): contiene gli *outlier*;
- *soluz_site.preg* (e.g. *gamit_arez.preg*): contiene i parametri delle rette di regressione e quindi:
 - coefficiente angolare e sua indeterminazione;
 - intercetta all'origine e sua indeterminazione;
 - covarianza dei citati parametri;
 - epoca del primo e dell'ultimo punto della serie temporale;

il tutto per le rette relative alle 3 coordinate cartesiane geocentriche a quelle geografiche e a quelle geodetiche locali.

Quanto sopra consente di rappresentare graficamente in modo diverso i punti rigettati e quelli che non lo sono, inoltre consente la rappresentazione grafica delle rette di regressione.

A onor del vero, i file “*.all”, prima di divenire *input* della procedura *rigetto3sigma1.f*, vengono filtrati da una procedura *C-shell* che eventualmente realizza un file:

- *soluz_site.rig-first* (e.g. *gamit_arez.rig-first*)

che contiene i dati rigettati a priori, in quanto contenenti il carattere speciale “*”, il che si verifica quando le coordinate geodetiche locali rispetto alle coordinate a priori sono esterne all’intervallo fra i valori in metri -9999.9999 e 9999.9999, il che è palesemente indice di un problema nella soluzione ottenuta o nella coordinata a priori; detto evento è assai raro ma, quando si verifica, blocca *rigetto3sigma1.f*, quindi è stato necessario prevedere questo ulteriore filtro che è naturalmente oggetto di *log*, affinché il problema possa essere ulteriormente indagato.

2.3.3 Esempio di log

Come più volte detto, tutte le procedure sin qui viste e quelle che verranno illustrate in seguito, realizzano dei *log* al fine di valutare la qualità dei dati sottoposti a processamento e di monitorare il lavoro svolto per individuare eventuali problemi.

log_post-rigetto.txt - Kate

FileModificaVisualizzaVaiDocumentoSegnalibriSessioniFinestraStrumentiImpostazioniAiuto

NuovoApriIndietroAvantiSalvaSalva comeChiudiAnnullaRifai

Browser del filesystemDocuments

LOG POST RIGETTO

LEGENDA:
- RINEX = numero rinex nell'archivio estratto da: log_dividi-e-conta.txt
- ALL = numero linee nel file .../05_site/soluz_site.all (ad es: berne_ajac.all)
- CLEAR = numero linee nel file .../05_site/soluz_site.clear (ad es: berne_ajac.clear)
- RIG = numero linee nel file .../05_site/soluz_site.rig (ad es: berne_ajac.rig)
- RIGF = numero linee nel file .../05_site/soluz_site.rig-first (ad es: berne_ajac.rig-first)
- TOT = somma de: CLEAR RIG RIGF
- AL-TO = differenza fra: ALL TOT (dovrebbe essere pari a zero)
- RI-TO = differenza fra: RINEX TOT (dovrebbe essere pari a zero)

#

Figura 2.3 – Esempio di log

(Premesso che due o tre “N” all’inizio dei nomi di *file* e *directory* rappresentano il numero progressivo che si è soliti inserire per mantenere ordine fra le procedure), un esempio di *log* è quello realizzato da un apposito *script* di nome:

NNN_log_post-rigetto3sigma1.csh

che salva in un apposito file (si veda Fig 2.3) le seguenti informazioni per ogni *software/soluzione* e per ogni sito:

- RINEX = numero rinex presenti nell'archivio (estratto da un log della procedura descritta nel Cap. 2.1 dato in input alla "4PG")
- ALL = numero totale di soluzioni disponibili
(estratto da *soluz_site.all*)
- CLEAR = numero delle soluzioni NON rigettate
(estratto da *soluz_site.clear*)
- RIG = numero delle soluzioni rigettate
(estratto da *soluz_site.rig*)
- RIGF = numero delle soluzioni rigettate a priori
(estratto da *soluz_site.rig-first*)
- TOT = somma de: CLEAR RIG RIGF
- ALL-TOT = differenza fra: ALL e TOT (dovrebbe essere pari a zero)
- RINEX-ALL = differenza fra: RINEX e ALL (dovrebbe essere pari a zero)

Si sottolinea che, se "ALL-TOT" è diverso da zero, c'è un problema da individuare e risolvere (in quanto la somma fra le soluzioni non rigettate, quelle rigettate e quelle rigettate a priori deve essere pari al numero totale di soluzioni disponibili); viceversa, la differenza "RINEX-ALL" (cioè la differenza fra il numero di *rinex* giornalieri presenti nell'archivio e il numero di soluzioni disponibili) mette in evidenza il numero di *rinex* che il "tal" *software* ha scartato sulla base di proprie impostazioni relative al numero di osservazioni, alla loro continuità o meno e alla presenza di errori formali nei file dati. A titolo di esempio il *software gamit* come impostazione predefinita esclude dal calcolo i *rinex* con meno di 3 ore di dati (il limite è approssimativo in quanto viene utilizzato un filtro dimensionale ...).

Log come quello poc'anzi illustrato consentono di realizzare tabelle statistiche come quella riportata nel seguito (si veda Tab 2.5) di indubbia utilità:

		rinex scartati		rigettati		clear	
		numero	%	numero	%	numero	%
berne		3	0,01	2029	8,89	20802	91,10
gamit		89	0,39	1113	4,87	21632	94,74
gipsy		138	0,60	1101	4,82	21595	94,57

Tabella 2.5 – Esempio di tabella statistica

dove:

- rinex scartati = Rinex NON processati dai singoli software
- rigettati = Rinex rigettati a 3σ dalla procedura "4PG"
- clear = Soluzioni buone

2.3.4 Rappresentazione grafica delle serie temporali

A questo punto è possibile *plottare* una serie di risultati. Al fine di evidenziare maggiormente ora un aspetto ora un altro, si è deciso di realizzare otto tipologie diverse di grafici, in tutti i casi vengono realizzati tre grafici per le tre coordinate di ogni sito e su ognuno di essi vengono confrontate le tre soluzioni se disponibili:

- grafici con tutti i punti (*outlier* e non) e relative barre di errore;
- grafici con i soli punti non rigettati;

- grafici con i punti non rigettati e le tre rette di regressione (una per ogni soluzione);
- grafici con i punti non rigettati, le tre rette di regressione e le relative curve di indeterminazione a 3σ ;

il tutto in coordinate cartesiane geocentriche (XYZ) e in coordinate geodetiche locali (NEU).

Grazie al *software Open Source Gnuplot*, tramite il quale è possibile ottenere grafici a partire da *script*, cioè a partire da comandi testuali eseguiti di volta in volta su dati differenti, è stato possibile prevedere la realizzazione automatica dei citati grafici, del resto procedere manualmente non è possibile (a titolo di esempio si pensi che per una rete costituita da 25 stazioni, cioè per una rete di dimensioni medio piccole, vengono automaticamente realizzati 600 grafici).

Per la rappresentazione grafica delle rette di regressione e delle relative curve di indeterminazione, negli *script Gnuplot*, sono state implementate le seguenti equazioni:

$$\hat{x}_s^i = \hat{m}_s^i t + \hat{q}_s^i \quad [1]$$

$$\hat{y}_s^i = \hat{m}_s^i t + \hat{q}_s^i \pm 3\sqrt{\sigma_{\hat{m}_s^i}^2 t^2 + 2\sigma_{\hat{m}_s^i \hat{q}_s^i} t + \sigma_{\hat{q}_s^i}^2} \quad [2]$$

La \hat{x}_s^i [1] e la \hat{y}_s^i [2] rappresentano rispettivamente la retta di regressione e le relative curve di indeterminazione del sito s ottenute dal *software/soluzione i*. Il coefficiente angolare \hat{m}_s^i , l'intercetta all'origine \hat{q}_s^i e le relative indeterminazioni stimate tramite *rigetto3sigma1.f*, vengono estratti dal citato file “*.preg” (si veda Cap 2.3.2).

A titolo di esempio, nel seguito si mostrano i 4 tipi di grafico in coordinate geodetiche locali realizzati dalla procedura (si vedano i grafici 2.1-2.4):

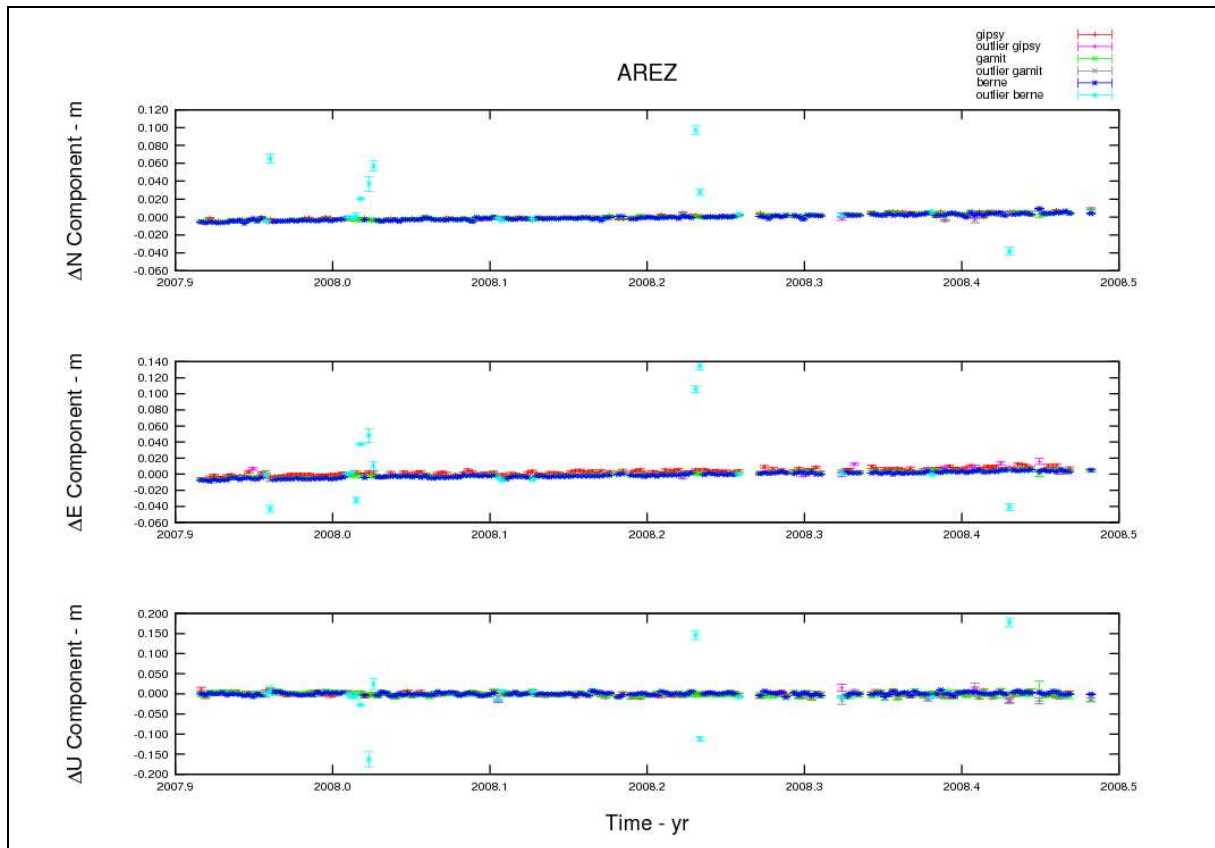


Grafico 2.1 – Esempio di grafico con tutti i punti (*outlier* e non) e relative barre di errore

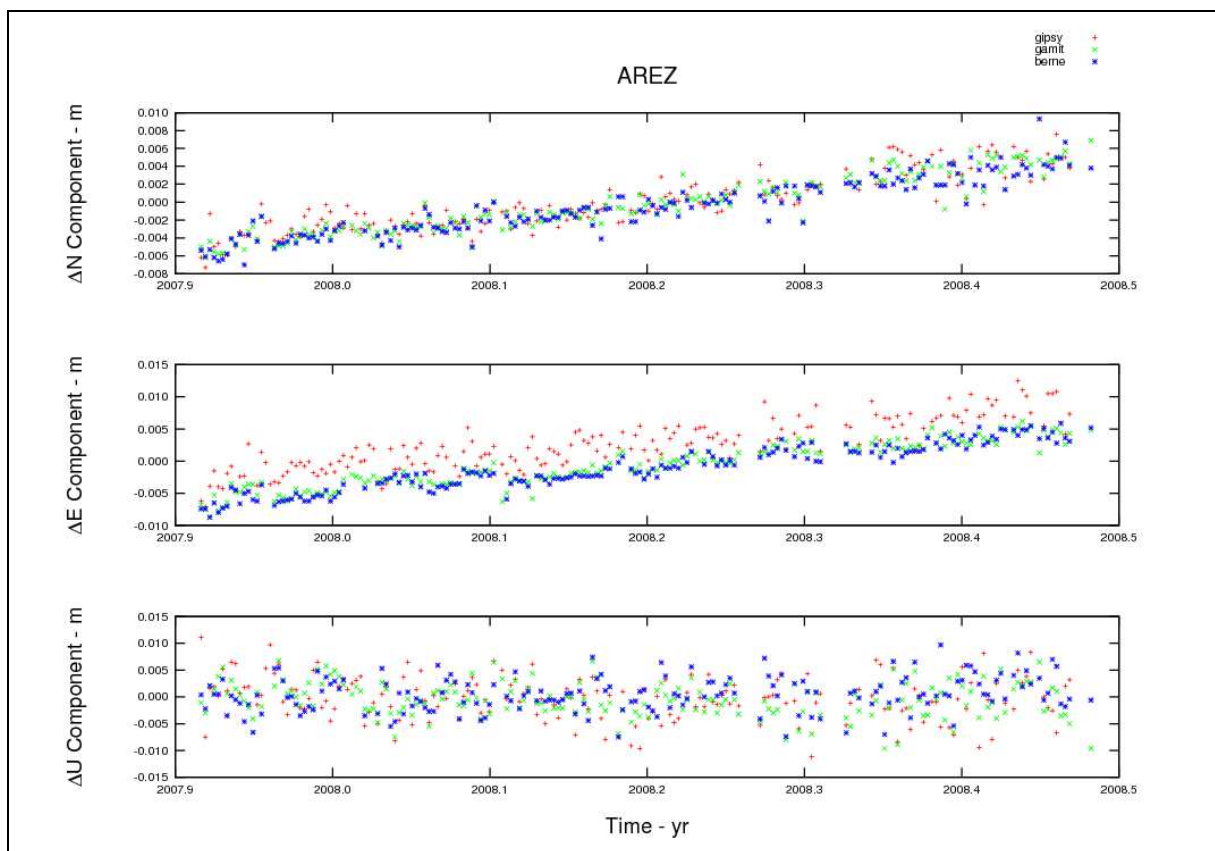


Grafico 2.2 – Esempio di grafico con i soli punti non rigettati

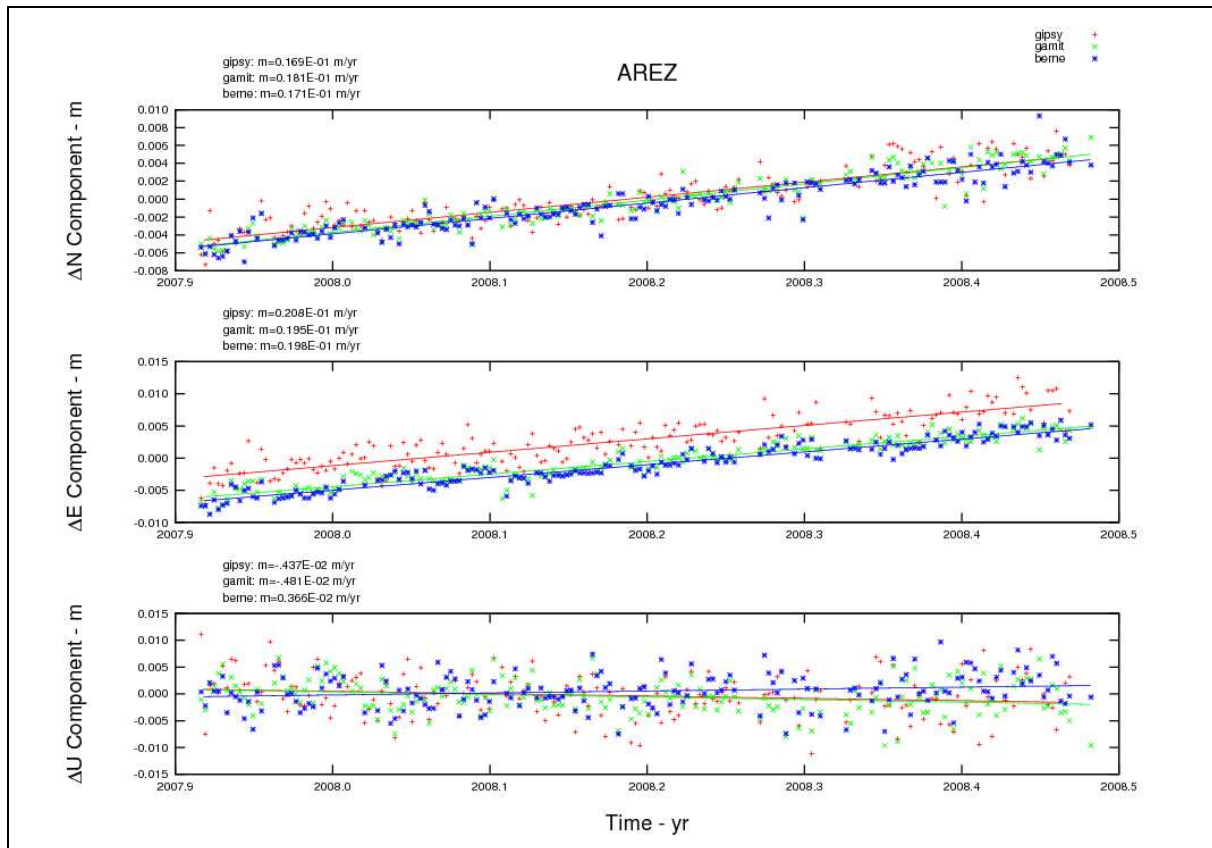


Grafico 2.3 – Esempio di grafico con i punti non rigettati e le tre rette di regressione

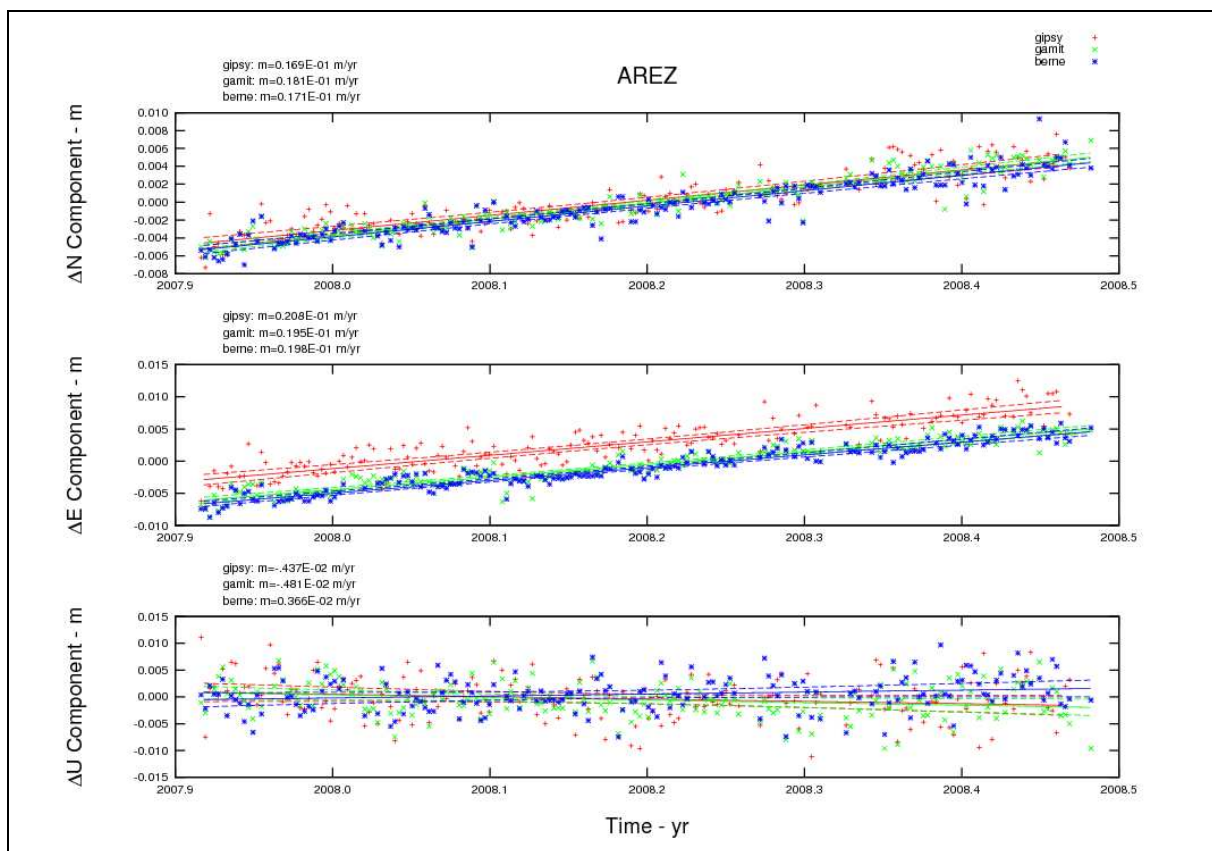


Grafico 2.4 – Esempio di grafico con i punti non rigettati, le tre rette di regressione e le relative curve di indeterminazione a 3σ

2.3.5 Inquadramento in ETRF00

L'uso del sistema mondiale *ITRS* non è funzionale a definire le posizioni di un frame di riferimento di uso nazionale al quale si richiede la migliore stabilità nel tempo delle coordinate; a tale scopo, se la rete sottoposta a calcolo insiste sulla placca europea, è conveniente utilizzare in alternativa il sistema *ETRS* ad essa solidale.

Le posizioni in un frame del sistema europeo, in particolare la realizzazione *ETRF00*, possono essere ottenute a partire dalla soluzione individuata nel sistema mondiale (*ITRF05*): formule di passaggio e parametri numerici sono definiti e determinati dalla struttura *EUREF*. Tali formule di passaggio tengono anche conto della variazione nel tempo dei parametri, per ovviare alla non contestualità tra momento del rilievo di una rete e l'epoca di riferimento dei sistemi.

Le formule di seguito riportate per la trasformazione sono quelle suggerite da *EUREF* in “memo” ufficiali (Boucher e Altamimi; 2008):

$$\underline{X}^{Eur}(t_c) = \underline{X}_{YY}^I(t_c) + (t_c - 1989.00) \begin{bmatrix} 0 & -\dot{R}_{3_{YY}} & \dot{R}_{2_{YY}} \\ \dot{R}_{3_{YY}} & 0 & -\dot{R}_{1_{YY}} \\ -\dot{R}_{2_{YY}} & \dot{R}_{1_{YY}} & 0 \end{bmatrix} \underline{X}_{YY}^I(t_c) + T_{YY} \quad [3]$$

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_{YY}^E \\ \dot{Y}_{YY}^E \\ \dot{Z}_{YY}^E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{X}_{YY}^I \\ \dot{Y}_{YY}^I \\ \dot{Z}_{YY}^I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\dot{R}_{3_{YY}} & \dot{R}_{2_{YY}} \\ \dot{R}_{3_{YY}} & 0 & -\dot{R}_{1_{YY}} \\ -\dot{R}_{2_{YY}} & \dot{R}_{1_{YY}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{X}_{YY}^I \\ \dot{Y}_{YY}^I \\ \dot{Z}_{YY}^I \end{bmatrix} \quad [4]$$

Dove con t_c è indicata l'epoca centrale del rilievo, con il punto sopra il simbolo si intende il *rate*, la variazione nel tempo e il pedice *YY* si riferisce alla realizzazione del frame.

La “4PG” prevede una procedura *fortran* di nome *itr2euref.f* che, sulla base delle formule poc'anzi mostrate, trasforma gli “*.stacov” *ITRF05* in “*.stacov” *ETRF00(R05)* (si ricorda che, come affermato in precedenza, il formato *stacov* è un formato proprietario *Gipsy* del tutto equivalente al formato *sinex*). Ovviamente, rilanciando la “4PG” sugli “*.stacov” *ETRF00*, è possibile ottenere tutte le trasformazioni e i grafici sin qui visti sulle posizioni *ETRF* oltreché su quelle *ITRF*.

Nelle due figure seguenti si mostra una serie temporale in *ITRF* (calcolata con due dei tre *software*) e la stessa serie in *ETRF* (si vedano i grafici 2.5 e 2.6), come ovvio, la seconda rispetto alla prima mostra delle velocità, dei *rate*, assai più bassi nelle componenti Nord ed Est:

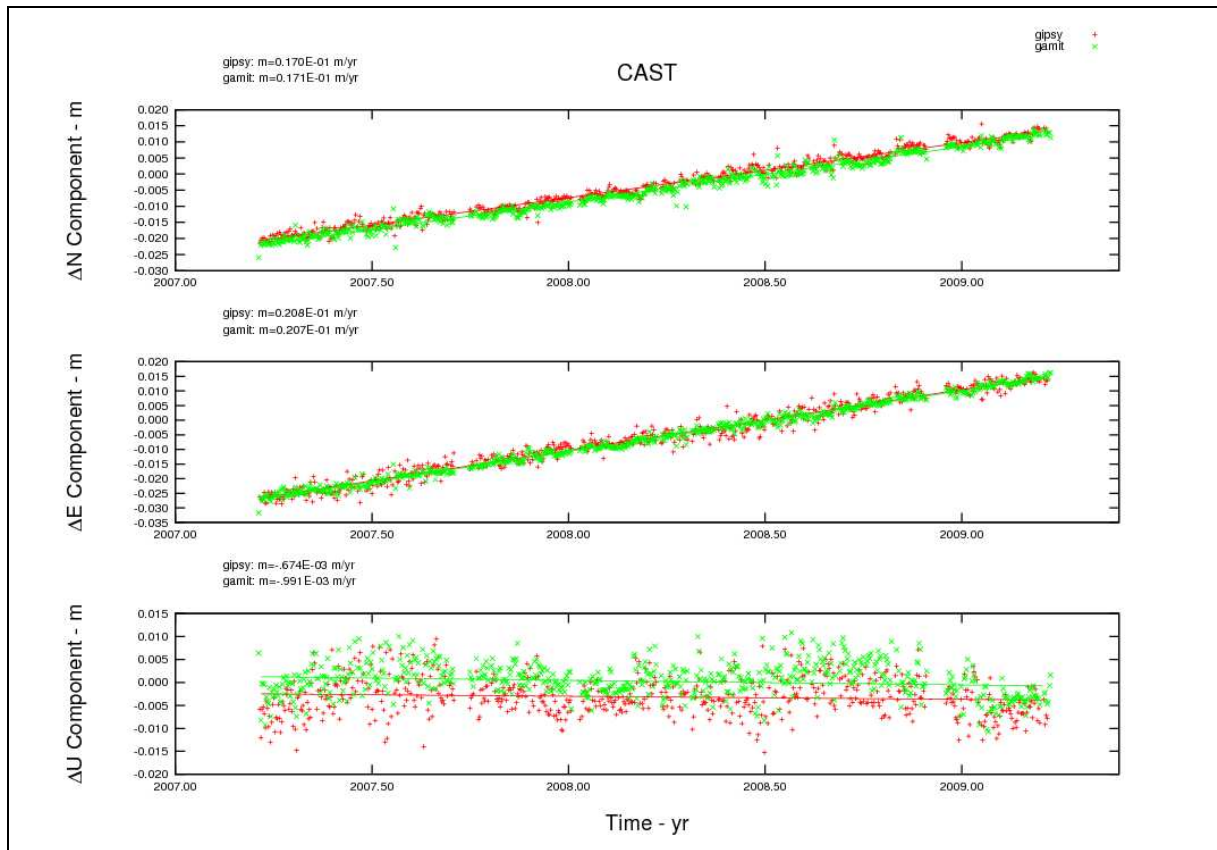


Grafico 2.5 – Serie temporale di Castelnuovo Ne' Monti (RE) in ITRF

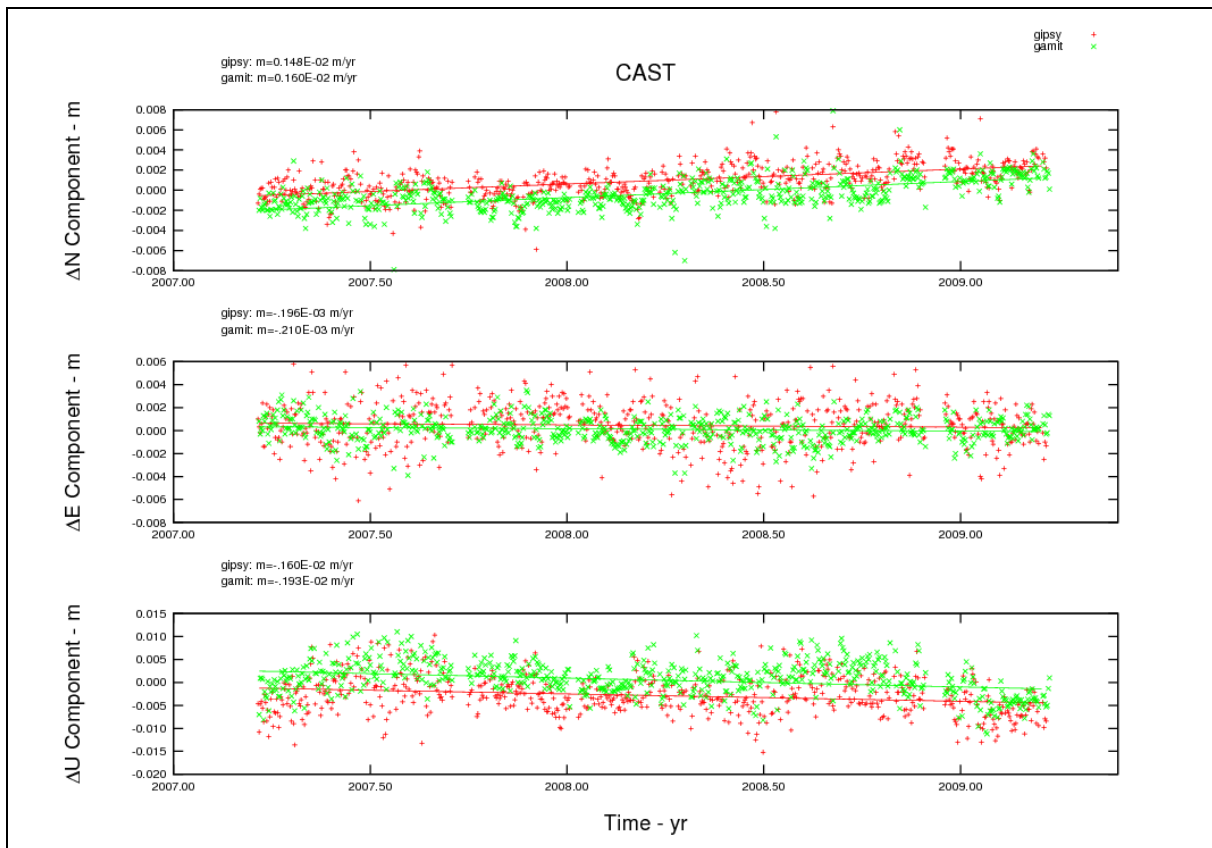


Grafico 2.6 – Serie temporale di Castelnuovo Ne' Monti (RE) in ETRF

2.3.6 Valori statisticamente significativi

Le procedure sin qui adottate hanno reso disponibile, per ogni *software* e per ogni sito, una serie temporale (in realtà tre: una per ogni coordinata); possiamo quindi assumere che $X_{t,s}^i$ è la soluzione ottenuta dal *software* i per il sito s all'epoca t . Come visto in precedenza ad ognuna di queste soluzioni giornaliere è associata la matrice di varianza/covarianza e quindi la deviazione standard calcolata dai diversi *software* (la “indeterminazione formale”).

E' noto però che la “indeterminazione formale” non è pienamente rappresentativa della reale variabilità statistica della posizione dei siti. A maggior ragione per le soluzioni differenziate (*Berne* e *Gamit*) per le quali, le differenze di fase singole e doppie, che eliminano gli errori degli orologi dei ricevitori e dei satelliti ma anche altri errori comuni, creano una forte correlazione fra stazioni e riducono sensibilmente la dispersione delle soluzioni.

A titolo di esempio nel seguito si riporta un tipico valore di deviazione standard (sito ACOM, doy 357, anno 2007; si veda Tab 2.6):

<i>Software</i>	$\sigma_{\Delta N}(\text{mm})$	$\sigma_{\Delta E}(\text{mm})$	$\sigma_{\Delta U}(\text{mm})$
<i>Bernese</i>	0.1	0.1	0.4
<i>Gamit</i>	1.1	1.0	3.8
<i>Gipsy</i>	0.7	1.2	2.0

Tabella 2.6 – Tipico esempio di deviazione standard associato a una soluzione giornaliera per ogni software

La “indeterminazione formale” può quindi essere utilizzata per definire il peso relativo delle soluzioni giornaliere di un singolo *software* (che è quanto è stato fatto calcolando le rette di regressione pesate, si veda Cap 2.3.2); mentre non è corretto confrontare le “indeterminazioni formali” di *software* differenti. Di conseguenza, in seguito, per ottenere una stima della ripetibilità della posizione delle stazioni permanenti, non si utilizzeranno le deviazioni standard calcolate dai diversi *software*, bensì verranno utilizzati parametri statistici ottenuti dall'analisi delle diverse serie temporali.

Detto che, un'attenta analisi dell'intera serie temporale di tutti i siti che costituiscono la rete sottoposta a processamento, è un'operazione indispensabile al fine di individuare problemi altrimenti non rintracciabili, l'avere soluzioni provenienti da diversi *software* che devono in un qualche modo essere confrontate, impone l'individuazione di un singolo valore rappresentativo della posizione di un sito; del resto, a titolo di esempio, se lo scopo è individuare le coordinate di una serie di stazioni permanenti da inserire in un *software* di “Gestione Reti *NRTK*”, è obbligatorio individuare singole terne di coordinate al limite accompagnate da un *trend*.

Se, come è auspicabile, l'intervallo di tempo analizzato è sufficientemente lungo (mesi di dati), il valore maggiormente significativo è il valore interpolato all'epoca t_0 sulla base di coefficiente angolare \hat{m}_s^i e intercetta all'origine \hat{q}_s^i ottenuti dalla stima ai minimi quadrati della retta di regressione pesata (si veda *rigetto3sigmal.f* e file “*.preg” in Cap 2.3.2 e 2.3.4).

Alla propagazione all'epoca t_0 cioè alla $\hat{x}_s^i(t_0)$ espressa dalla [5] è possibile affiancare la sua deviazione standard $\sigma_{\hat{x}_s^i(t_0)}$ espressa dalla [6] che è funzione delle indeterminazioni di coefficiente angolare e intercetta all'origine.

$$\hat{x}_s^i(t_0) = \hat{m}_s^i t_0 + \hat{q}_s^i \quad [5]$$

$$\sigma_{\hat{x}_s^i(t_0)} = \sqrt{\sigma_{\hat{m}_s^i}^2 t_0^2 + 2\sigma_{\hat{m}_s^i \hat{q}_s^i} t_0 + \sigma_{\hat{q}_s^i}^2} \quad [6]$$

La $\hat{x}_s^i(t_0)$ espressa dalla [5] e la sua deviazione standard sono valori significativi anche qualora l'intervallo di tempo analizzato è breve, a patto che l'epoca di riferimento scelta sia baricentrica o per lo meno interna all'intervallo; se così non è, risulta indispensabile scegliere valori alternativi e in tal caso la media \bar{x}_s^i espressa dalla [7] e la deviazione standard $\sigma_{\bar{x}_s^i}$ espressa dalla [8] sono in grado di rappresentare il campione di dati disponibili.

$$\bar{x}_s^i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_{s,k}^i \quad [7]$$

$$\sigma_{\bar{x}_s^i} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{k=1}^N (x_{s,k}^i - \bar{x}_s^i)^2} \quad [8]$$

Siccome nella rete di stazioni sottoposta a calcolo, siti con lunghe serie temporali possono convivere con siti aventi serie temporali brevi (ad esempio perché materializzati in ritardo rispetto agli altri), la procedura “4PG” calcola tanto i valori propagati quanto le medie insieme alle indeterminazioni degli uni e delle altre. Sarà l'operatore a scegliere ora un valore ora l'altro a seguito dell'analisi manuale delle serie temporali.

Per la determinazione dei valori propagati e delle relative indeterminazioni in XYZ e NEU sono state implementate due procedure *csh*:

- *NN_propago_XYZ.csh*
- *NN_propago_NEU.csh*

che estraggono i parametri delle regressioni dai più volte citati file “*.preg” e li elaborano tramite il comando *awk* (che è un vero e proprio linguaggio che consente di lavorare su dati in formato tabellare); in fase di esecuzione, è indispensabile specificare l'epoca di riferimento (t_0) da utilizzare.

Per la determinazione delle medie e delle relative indeterminazioni in XYZ e NEU sono state previste due procedure *fortran*:

- *media-stdev_XYZ.f*
- *media-stdev_NEU.f*

Si è volontariamente scelto di non calcolare la media pesata, per avere una soluzione che in un qualche modo utilizza le “indeterminazioni formali” (si ricorda che le propagazioni ne tengono conto in quanto usano i parametri di rette di regressione pesate), affiancata da una soluzione che non ne tiene conto in nessun modo. Inoltre si è scelto di non affiancare alla media la deviazione standard “detrendizzata”, in quanto si parte dal presupposto che media e relativa indeterminazione vengono utilizzate solo per intervalli temporali brevi, che rendono privo di senso l’utilizzo della detrendizzazione (a onor del vero le procedure *fortran* implementate calcolano anche la deviazione standard “detrendizzata” ma non la salvano negli output).

Se si stanno analizzando tre soluzioni, le procedure poc’anzi descritte generano in totale 12 *file* di *output* del tipo:

- *XYZ_mediat_i_all-site_soluz.txt* (e.g. *XYZ_mediat_i_all-site_gamit.txt*);
- *XYZ_propagati_all-site_soluz.txt* (e.g. *XYZ_propagati_all-site_gamit.txt*);
- *NEU_mediat_i_all-site_soluz.txt* (e.g. *NEU_mediat_i_all-site_gamit.txt*);
- *NEU_propagati_all-site_soluz.txt* (e.g. *NEU_propagati_all-site_gamit.txt*);

contenenti:

- il nome della stazione;
- l’epoca di riferimento per i valori propagati o in alternativa la stringa “media”;
- le tre coordinate ottenute dalle propagazioni o dalle medie;
- le indeterminazioni delle tre coordinate.

2.3.7 Strategia di confronto

Le procedure sin qui descritte in ambito “4PG” vengono svolte a prescindere che siano disponibili una, due o tre soluzioni; viceversa, quanto verrà discusso in questo paragrafo, viene eseguito esclusivamente se si hanno almeno due soluzioni.

A questo punto per ogni software e per ogni sito si possiede una terna di valori rappresentativi accompagnati dalla propria indeterminazione, siano essi valori mediati, o propagati a un’epoca prestabilita.

Detti valori devono essere confrontati al fine di valutare le differenze e al fine di comprendere se le diverse soluzioni sono coerenti o meno.

A tal fine è possibile calcolare su due soluzioni alla volta (per un totale di tre confronti se si hanno tre soluzioni) la differenza fra le coordinate [9], la relativa deviazione standard [10] e la differenza normalizzata [11].

$$\Delta x_s^{i-j} = x_s^i - x_s^j \quad [9]$$

$$\sigma_{\Delta x_s^{i-j}} = \sqrt{\left(\sigma_{x_s^i}\right)^2 + \left(\sigma_{x_s^j}\right)^2} \quad [10]$$

$$\Delta \tilde{x}_s^{i-j} = \frac{\Delta x_s^{i-j}}{\sigma_{\Delta x_s^{i-j}}} \quad [11]$$

Con Δx_s^{i-j} si intende sia la differenza fra valori propagati che la differenza fra valori mediati, nel senso che è indifferente confrontare gli uni o gli altri; allo stesso modo con $\sigma_{\Delta x_s^{i-j}}$ si intende sia la deviazione standard della differenza fra valori propagati che la deviazione standard della differenza fra valori mediati.

Le sopracitate equazioni sono state implementate in 4 procedure *C-shell*:

- *NN_confronto-propagazioni_XYZ.csh*;
- *NN_confronto-medie_XYZ.csh*;
- *NN_confronto-propagazioni_NEU.csh*;
- *NN_confronto-medie_NEU.csh*;

che si preoccupano di effettuare i confronti, sia delle soluzioni propagate che di quelle mediate, in XYZ e in NEU.

I risultati ottenuti vengono riversati in ulteriori 12 *output* del tipo:

- *XYZ_confronto-med_sol01-sol02.txt* (e.g. *XYZ_confronto-med_berne-gamit.txt*);
- *XYZ_confronto-pro_sol01-sol02.txt* (e.g. *XYZ_confronto-pro_berne-gamit.txt*);
- *NEU_confronto-med_sol01-sol02.txt* (e.g. *NEU_confronto-med_berne-gamit.txt*);
- *NEU_confronto-pro_sol01-sol02.txt* (e.g. *NEU_confronto-pro_berne-gamit.txt*);

contenenti (si veda Fig 2.4):

- il nome della stazione nella prima colonna;
- le coordinate a priori date in *input* ai tre *software* nella fase di calcolo propriamente detta convertite in coordinate geografiche ($\phi\lambda h$) (l'utilità di detti dati verrà chiarita in seguito);
- le differenze fra le soluzioni in analisi nelle successive tre colonne;
- le deviazioni standard delle poc'anzi citate differenze in ulteriori tre colonne;
- le differenze normalizzate nelle ultime tre colonne.

Grazie al *software Open Source GMT*, tramite il quale è possibile ottenere mappe a partire da *script*, e grazie a una commistione di procedure *C-shell* e programmi *fortran*, è stato possibile prevedere la realizzazione automatica di mappe ove, i diversi siti, sono rappresentati con dei cerchi la cui area è proporzionale alle differenze ottenute tramite l'equazione [9] (e quindi alle differenze fra due delle tre soluzioni).

ACOM 46. 547934890	13. 514899820	1774. 6879	0. 0010	0. 0004	-0. 0006	0. 0004	0. 0005	0. 0010	2. 7735	0. 8000	-0. 6061
ALFE 41. 733926610	14. 034382660	969. 7882	0. 0001	0. 0004	-0. 0037	0. 0004	0. 0004	0. 0009	0. 2774	1. 1094	-4. 0132
AMUR 40. 907261560	16. 604039250	549. 4603	-0. 0001	0. 0007	-0. 0033	0. 0003	0. 0004	0. 0010	-0. 3536	1. 9415	-3. 2052
AQUT 42. 368240180	13. 350249210	713. 0797	0. 0000	0. 0001	-0. 0008	0. 0003	0. 0004	0. 0011	0. 0000	0. 2774	-0. 7396
BIEL 45. 560747340	8. 048055560	480. 4773	0. 0007	-0. 0004	-0. 0011	0. 0004	0. 0004	0. 0014	1. 9415	-1. 1094	-0. 7740
BORM 46. 468182230	10. 363976130	1263. 3678	0. 0005	-0. 0007	0. 0030	0. 0003	0. 0003	0. 0011	1. 7678	-2. 4749	2. 6517
BRBZ 46. 796554200	11. 941341280	903. 7552	0. 0004	0. 0009	0. 0025	0. 0003	0. 0004	0. 0008	1. 4142	2. 4962	2. 9463
BRES 45. 564928890	10. 232765840	224. 9680	0. 0009	-0. 0001	0. 0001	0. 0002	0. 0004	0. 0007	4. 0249	-0. 2774	0. 1491
BZRG 46. 499024300	11. 336797510	329. 1349	0. 0009	-0. 0003	-0. 0009	0. 0002	0. 0002	0. 0008	4. 0249	-1. 3416	-1. 1523
CA06 39. 142573790	9. 520961030	101. 7260	0. 0000	0. 0001	0. 0001	0. 0004	0. 0005	0. 0011	0. 0000	0. 2000	0. 0884
CAGL 39. 135912320	8. 972753320	238. 3619	-0. 0004	0. 0004	0. 0038	0. 0004	0. 0004	0. 0011	-1. 1094	0. 9428	3. 5282
CAME 43. 111986100	13. 123998950	498. 6776	0. 0002	-0. 0001	-0. 0015	0. 0004	0. 0004	0. 0011	0. 5547	-0. 2357	-1. 3868
CAMP 37. 629260540	12. 744886520	146. 0648	-0. 0011	-0. 0002	0. 0012	0. 0003	0. 0003	0. 0009	-3. 8891	-0. 7071	1. 3950
CAPO 38. 157357270	14. 739570380	62. 5394	-0. 0003	0. 0002	0. 0012	0. 0002	0. 0004	0. 0010	-1. 3416	0. 5547	1. 2000
CARI 41. 194721710	13. 974190760	142. 3951	-0. 0006	0. 0001	0. 0004	0. 0003	0. 0003	0. 0011	-2. 1213	0. 3536	0. 3508
COMO 45. 802163680	9. 095623100	292. 2899	0. 0008	0. 0001	0. 0012	0. 0001	0. 0003	0. 0005	5. 6569	0. 3536	2. 4000
COMU 43. 616907650	13. 518820200	97. 0077	-0. 0002	0. 0002	0. 0049	0. 0002	0. 0004	0. 0009	-0. 8944	0. 5547	5. 1940
CUCC 39. 993803000	15. 815547790	669. 3335	0. 0013	0. 0012	-0. 0060	0. 0004	0. 0004	0. 0011	3. 6056	2. 8284	-5. 5470
CUNE 44. 394993000	7. 553570820	598. 0724	0. 0012	-0. 0018	0. 0034	0. 0005	0. 0004	0. 0013	2. 2283	-4. 9923	2. 6713
DEVE 46. 313559900	8. 260999980	1679. 4190	0. 0006	0. 0003	-0. 0021	0. 0011	0. 0008	0. 0025	0. 5367	0. 3721	-0. 8250
EIIV 37. 513602620	15. 082082920	88. 8828	-0. 0003	0. 0003	0. 0002	0. 0003	0. 0004	0. 0011	-1. 0607	0. 7071	0. 1768
ELBA 42. 752900850	10. 211097870	271. 7586	0. 0002	-0. 0002	-0. 0005	0. 0003	0. 0005	0. 0013	0. 7071	-0. 4000	-0. 3904
ENAV 40. 582305830	14. 334884250	541. 2179	0. 0007	0. 0007	-0. 0022	0. 0004	0. 0003	0. 0011	1. 9415	2. 4749	-2. 0339
ENNA 37. 569759020	14. 274302300	989. 5025	0. 0000	0. 0002	0. 0018	0. 0004	0. 0004	0. 0013	0. 0000	0. 4714	1. 3379
FASA 40. 834832830	17. 359032710	175. 7770	-0. 0004	0. 0006	-0. 0017	0. 0003	0. 0004	0. 0011	-1. 4142	1. 6641	-1. 4910
FOGG 41. 452205330	15. 532132380	148. 3684	-0. 0002	0. 0007	0. 0001	0. 0003	0. 0004	0. 0011	-0. 7071	1. 9415	0. 0925

Figura 2.4 – Esempio di file contenente l'output del confronto fra due soluzioni

Premesso che *GMT* utilizza le differenze ottenute dalla [9] (o meglio, come si vedrà, la radice quadrata di dette differenze) come raggi dei cerchi con i quali vengono rappresentate le diverse stazioni, il programma *fortran*:

pro_GMT_diff-prop.f

si limita a separare le differenze positive da quelle negative (al fine di cambiare il segno delle seconde e per rappresentare i valori con segno diverso tramite colori differenti), inoltre calcola la radice quadrata delle differenze affinché, i cerchi *plottati* da *GMT*, siano proporzionali a dette differenze piuttosto che al loro quadrato.

Le procedure *C-shell*:

- *NN_lancia_pro_GMT_confronto-pro_XYZ.csh*;
- *NN_lancia_pro_GMT_confronto-med_XYZ.csh*;
- *NN_lancia_pro_GMT_confronto-pro_NEU.csh*;
- *NN_lancia_pro_GMT_confronto-med_NEU.csh*;

gestiscono gli *input* e gli *output* del poc'anzi citato programma *fortran* e contengono i comandi testuali con sintassi *GMT* che, eseguiti di volta in volta su dati differenti, realizzano le mappe in questione. Le coordinate a cui *plottare* i diversi siti, insieme alle differenze fra le soluzioni, vengono estratte dai file descritti in precedenza e di cui Fig 2.4 è un esempio.

In totale, se le soluzioni a confronto sono tre, vengono realizzate 36 mappe (tre coordinate per tre confronti fra soluzioni, considerando sia le differenze fra i valori propagati che quelle fra i valori mediati, il tutto in XYZ e in NEU). In Fig 2.5 è mostrato un esempio di mappa *GMT*.

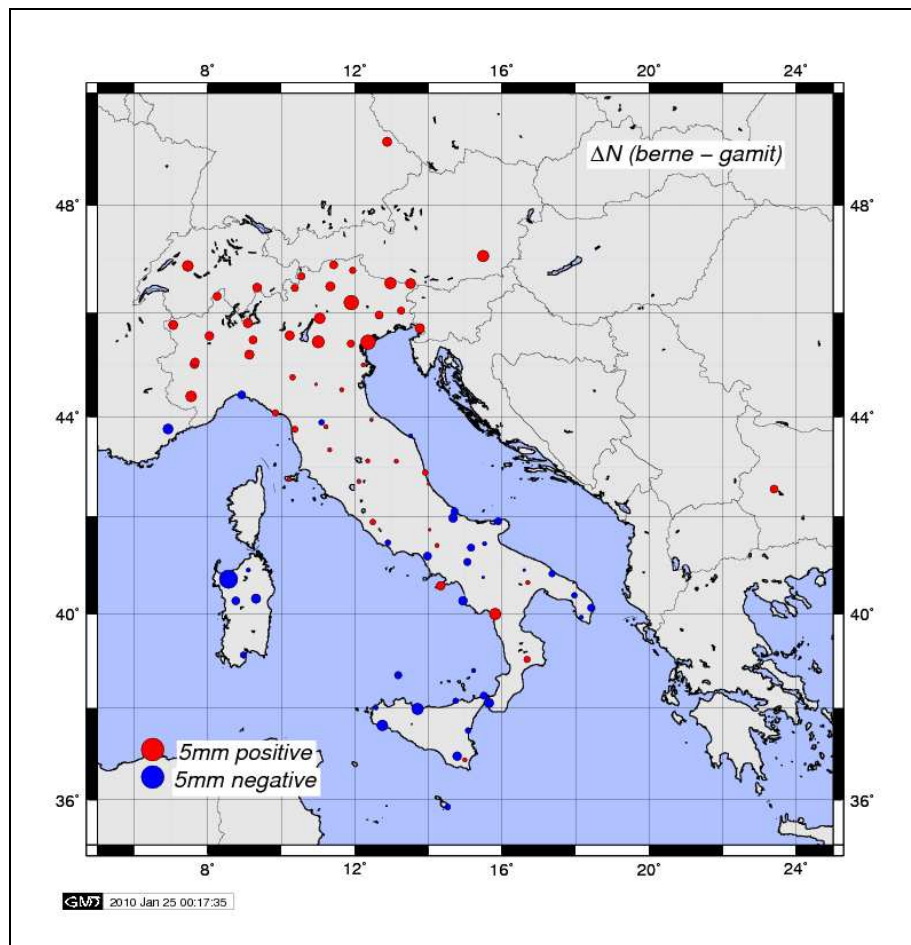


Figura 2.5 – Esempio di mappa GMT con cerchi proporzionali alle differenze

Si sottolinea ulteriormente che, tutto quanto è stato sommariamente descritto in questo capitolo (Cap 2.3), può essere ottenuto lanciando un singolo comando e quindi, la “4PG” (grazie alle sue 7000 circa linee di codice) è in grado di ridurre drasticamente il tempo necessario al post trattamento dei risultati.

3 Esempi applicativi e confronto fra codici

Le reti di stazioni permanenti sottoposte a calcolo in questi anni, sono molto diverse fra loro sia per quanto riguarda il numero di stazioni che per quanto riguarda l'ampiezza della finestra temporale analizzata; in particolare:

- *BoPos*: rete del *DISTART* costituita da 12 stazioni (a cui si aggiungono 16 stazioni di inquadramento); la finestra temporale analizzata va dal *doy* 001 del 2006 al 050 del 2007 (415 giorni) per un totale di 9370 *rinex* (stazioni di inquadramento comprese);
- *ItalPoS*: rete della *Leica Geosystems*, calcolata a fronte di una convenzione fra *Leica* e *DISTART*, costituita da 131 stazioni (a cui si aggiungono 13 stazioni di inquadramento e 2 stazioni di controllo); la finestra temporale analizzata va dal *doy* 334 del 2007 al 180 del 2008 (212 giorni) per un totale di 23357 *rinex* (stazioni di inquadramento comprese);
- *RDN*: Rete Dinamica Nazionale definita dall'Istituto Geografico Militare Italiano (*IGMI*), il calcolo è stato commissionato al *DISTART* dal *CISIS* (*Centro Interregionale per i Sistemi Informatici, geografici e statistici*), costituita da 85 stazioni (a cui si aggiungono 13 stazioni di inquadramento); la finestra temporale analizzata va dal *doy* 357 del 2007 al 019 del 2008 (28 giorni) per un totale di 2633 *rinex* (stazioni di inquadramento comprese);
- *SoGER*: rete della Società Geometri Emilia Romagna, calcolata a fronte di una convenzione fra *SoGER* e *DISTART*, costituita da 15 stazioni (a cui si aggiungono 13 stazioni di inquadramento); la finestra temporale analizzata va dal *doy* 040 del 2007 al 083 del 2009 (775 giorni) per un totale di 16599 *rinex* (stazioni di inquadramento comprese).

Nei paragrafi successivi verranno mostrati i risultati ottenuti applicando le procedure illustrate nel capitolo precedente ai *dataset* delle 4 reti poc'anzi citate.

3.1 BoPos

La rete di stazioni permanenti *BoPos* (*Bologna Positioning*) per il posizionamento in tempo reale *NRTK* (*Network Real Time Kinematic*), è gestita dal *DISTART* ed è in funzione, per scopi di natura scientifica, dal 2003 (Barbarella et al., 2003; Barbarella et al., 2006a; Barbarella et al., 2006b); il numero di stazioni è incrementato dalle 4 iniziali (Bologna, Forlì, Reggio Emilia e Ferrara) sino alle 12 illustrate in Fig 3.1 e in Tab 3.1.

E' attualmente in corso la sostituzione della strumentazione *GPS* con strumentazione in grado di ricevere il segnale anche dalla costellazione *GLONASS* (*GLObal NAVigation Satellite System*), contestualmente la rete ha subito e subirà un ridimensionamento.

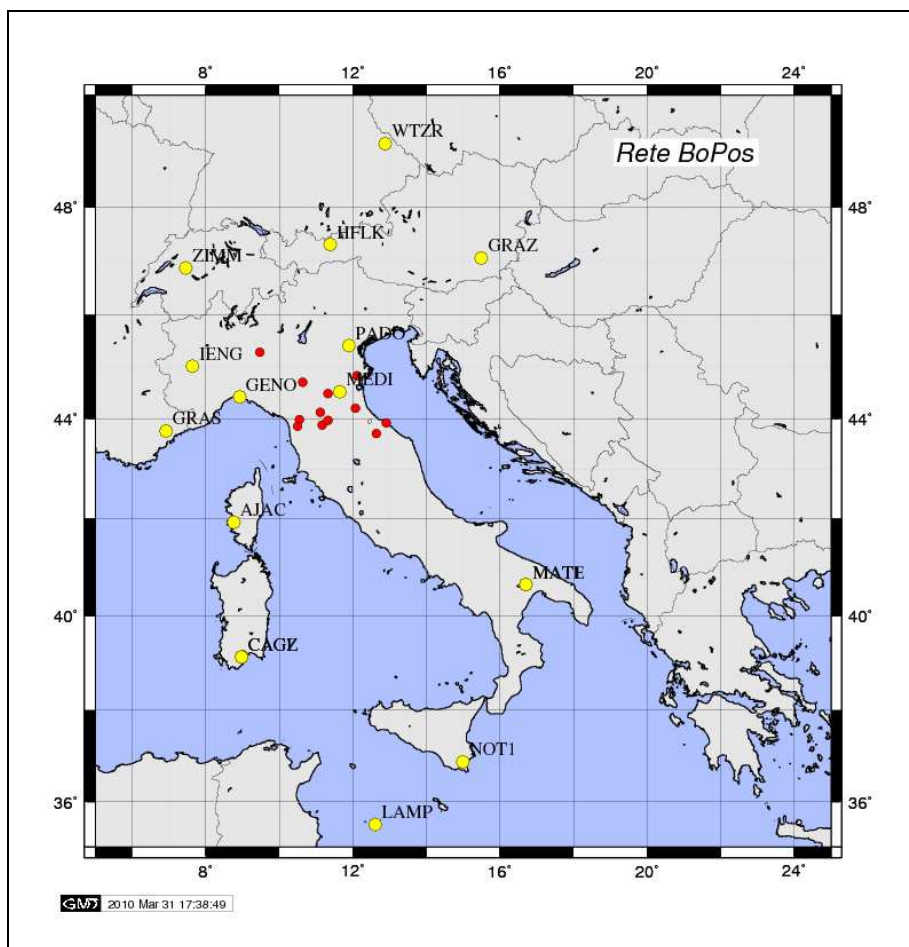


Figura 3.1 – Rete BoPos (in rosso) e stazioni utilizzate per l'inquadratura (in giallo)

Four Character ID	Site Name
BOAM	Borgo a Mozzano (LU)
BOL1	Bologna (BO)
BRAS	Brasimone (BO)
CAL0	Calenzano (FI)
CODI	Codigoro (FE)
FORL	Forlì (FO)
LODI	Lodi (LO)
LUCC	Lucca (LU)
PESA	Pesaro (PU)
REGG	Reggio Emilia (RE)
SANP	San Piero a Sieve (FI)
URBI	Urbino (PU)

Tabella 3.1 – Stazioni della rete BoPos

La stazione BRAS collocata in località Castiglione dei Pepoli (BO) in prossimità del Bacino Brasimone, è di proprietà del Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna che ha concesso

i dati tanto per il salvataggio dei *rinex* quanto per la disseminazione delle correzioni per il posizionamento in tempo reale.

Per la rete *BoPos* sono state utilizzate 12 delle 13 stazioni di inquadramento illustrate in Fig 2.1 di Cap 2.2.4 (si escluse Sofia), a cui sono state aggiunte: AJAC, CAGZ, HFLK e MAT1 (si veda Fig 3.1 e Tab 3.2).

Four Character ID	Site Name
AJAC	Ajaccio
CAGZ	Capoterra - Cagliari
HFLK	Hafelekar - Innsbruck
MAT1	Matera

Tabella 3.2 – Stazioni di inquadramento “aggiunte”

Per quanto riguarda il filtraggio dei dati finalizzato all’eliminazione di *rinex* che non soddisfano determinati standard qualitativi, si adottò esclusivamente un filtro dimensionale scartando i *file* “*Compressed Compact RINEX*” di dimensioni inferiori ai 100KB. Così facendo si scartarono 138 *rinex* passando da 9370 a 9232 *file*. Si sottolinea che, con la dizione “*Compressed Compact RINEX*”, si intendono i file “*.yyd.Z” che sono compressi sia tramite l’algoritmo *Hatanaka* che tramite l’algoritmo *Lempel-Ziv LZ77*.

La rete *BoPos* è stata la prima ad essere calcolata con i tre *software* dal *DISTART* (Barbarella et al., 2007); a suo tempo, al contrario di quanto descritto nel paragrafo “*Parametri di calcolo comuni*” (si veda Cap 2.2.3), si decise di seguire le indicazioni degli sviluppatori dei codici; inoltre, le versioni dei *software* di calcolo allora disponibili, non consentirono di adottare dati ancillari e parametri fisici comuni.

Nel seguito si elencano le principali differenze fra la strategia di calcolo utilizzata per la rete *BoPos* e quella adottata per il calcolo delle altre reti:

- si utilizzò un *Cut Off* a 13° piuttosto che a 10°;
- si adottò sulle coordinate a priori un vincolo di 100m piuttosto che di 10m;
- con il *Bernese* si adoperarono i modelli di calibrazione assoluta del centro di fase delle antenne forniti dall’*IGS*, mentre con *Gamit* e *Gipsy* si usarono le calibrazioni relative fornite dal *National (U.S.A.) Geodetic Survey (NGS)*;
- con il *Bernese* e *Gamit* si impiegarono le orbite precise distribuite dall’*IGS* mentre con *Gipsy* si usarono le orbite elaborate dal *JPL* (in tal caso, per passare al sistema di riferimento *ITRF05*, è necessario utilizzare dei parametri di trasformazione giornalieri resi disponibili dal *JPL*);
- per la soluzione *Bernese* si utilizzò un inquadramento a “minimi vincoli” adottando come fisse le coordinate di 3 stazioni *IGS* (CAGL, MATE e ZIMM) stimando esclusivamente i 3 parametri di traslazione; per la soluzione *Gamit* si utilizzarono 7 stazioni (CAGL, GRAZ, IENG, LAMP, MATE, WTZR e ZIMM) e una trasformazione di similarità a 7 parameri (3 traslazioni, 3 rotazioni e 1 fattore di scala); per la soluzione *Gipsy* si utilizzò una

trasformazione di similitudine mediante approccio ai minimi quadrati come per *Gamit*, ma si considerarono tutte le stazioni di inquadramento citate in precedenza.

Nel 2007 la procedura “4PG” descritta nel Cap 2.3 esisteva soltanto in versione embrionale quindi non si mostreranno gli elaborati grafici relativi al confronto fra soluzioni; in ogni modo, i risultati a suo tempo ottenuti, sono analoghi a quelli mostrati nel grafico 3.1:

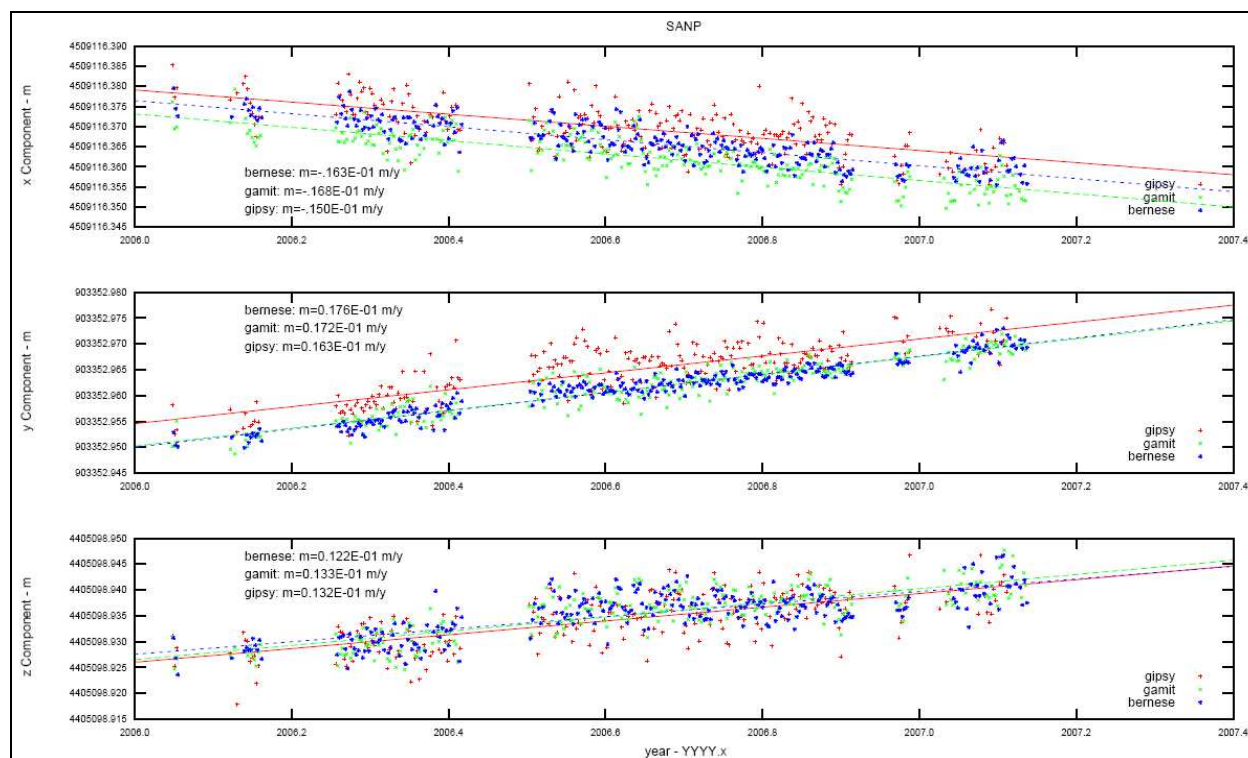


Grafico 3.1 – Esempio di soluzione ottenuta dai codici Bernese (blu), Gamit (verde) e Gipsy (rosso) per un sito della rete BoPos (San Piero a Sieve - FI).

Risulta evidente una sostanziale analogia tra i risultati ottenuti dai diversi *software*, inoltre, tutte le soluzioni hanno una dispersione contenuta (si tenga presente che la spaziatura lungo l’asse delle ordinate è di 5mm, mentre lungo l’asse delle ascisse è di 0,2 *decimal year*). Però, con i presupposti poc’anzi citati, non è stato possibile comprendere la reale natura delle piccole differenze riscontrate, cioè non è stato possibile capire se esse sono imputabili esclusivamente all’uso di codici diversi, oppure se esse sono dovute anche all’uso di dati ancillari e procedure differenti. Ciò risulterà evidente nelle successive analisi nelle quali si adotterà il “protocollo” descritto nel paragrafo “Parametri di calcolo comuni” (si veda Cap 2.2.3).

3.2 ItalPoS

3.2.1 Descrizione della rete e preparazione del dataset

Come accennato in precedenza la rete *ItalPoS* (*Italian Positioning Service*) è una rete per il posizionamento in tempo reale privata, gestita dalla *Leica Geosystems S.p.A.* dal 2006.

La rete, al momento del calcolo, era costituita da 131 stazioni distribuite sul territorio nazionale, a cui sono state aggiunte le 13 stazioni di inquadramento illustrate in Fig 2.1 di Cap 2.2.4 e 3 stazioni di controllo, il cui scopo verrà chiarito in un successivo capitolo. Le 3 stazioni di controllo sono: AJAC, DUBR e M0SE (si veda Tab 3.3; M0SE è al tempo stesso una stazione di controllo e una stazione della rete *ItalPoS*).

Four Character ID	Site Name
AJAC	Ajaccio
DUBR	Dubrovnik
M0SE	Roma

Tabella 3.3 – Stazioni di controllo

La rete è così costituita da $(131+13+3-1=)$ 146 stazioni (si veda Fig 3.2 e Tab 3.4), l'intervallo di tempo analizzato consta di 212 giorni tra la fine del 2007 e il 2008, per un totale di 23357 *rinex* a 30 secondi.

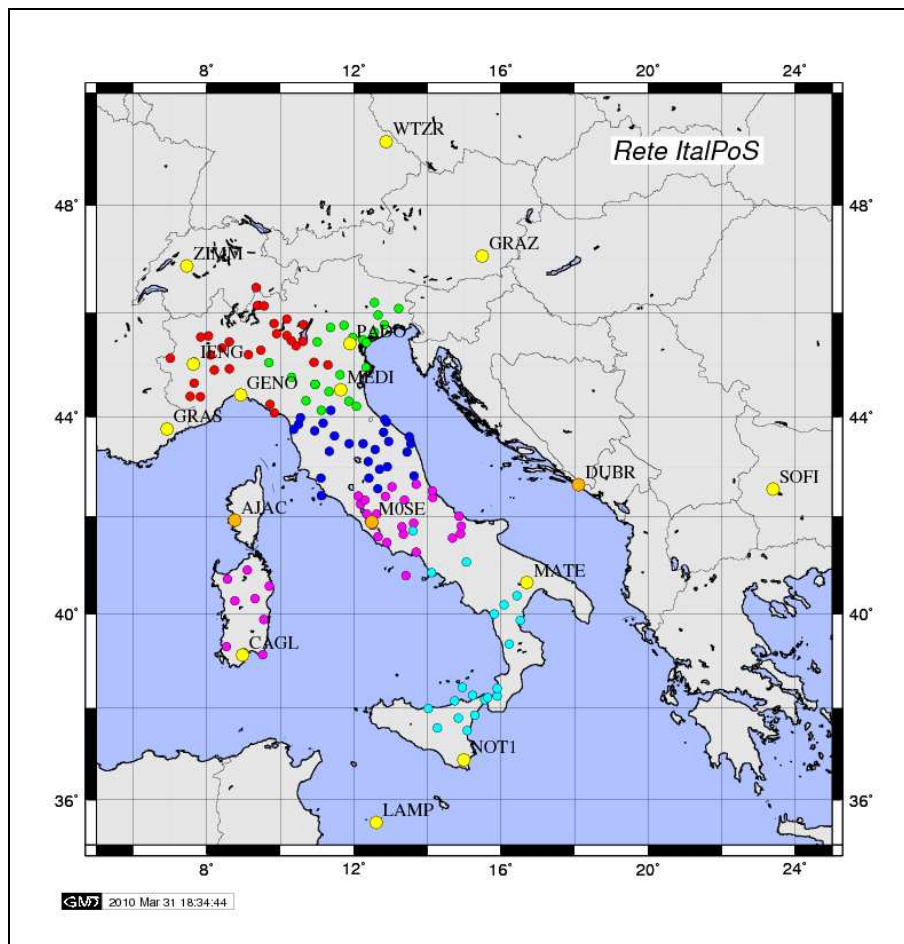


Figura 3.2 – Rete ItalPoS suddivisa in 5 cluster (rosso, verde, blu, magenta e ciano), stazioni di controllo (arancione) e stazioni utilizzate per l'inquadramento (giallo)

Scartando i *rinex* con meno di 5 ore di dati, ne sono stati eliminati 523 che corrispondono al 2,2% del totale, a indicare una buona qualità dei file costituenti il *dataset* iniziale (i dati in

Tab 3.4 sono relativi ai 22834 *rinex* post filtraggio). Si è scelto un limite relativamente basso in quanto, come illustrato in precedenza, i *software* di calcolo operano un ulteriore taglio in base a propri parametri e soprattutto perché la “4PG” elimina gli *outlier* a 3σ in fase di realizzazione delle rette di regressione.

Site	gg	Site	gg	Site	gg	Site	gg	Site	gg	Site	gg	Site	gg	Site	gg
ajac	151	caba	101	Darf	159	gioi	206	lucc	179	olgi	85	roma	199	tori	178
ales	160	cagl	212	Dubr	165	gras	207	m0se	201	pado	152	sass	177	treb	53
ancg	158	cala	197	Eiiv	187	grav	164	mace	184	pala	135	savi	156	unud	174
apri	63	capo	103	Empo	201	graz	212	maco	207	parm	191	sbpo	181	vene	85
aqun	136	capr	172	Enna	179	grob	174	maga	181	pavi	190	schi	34	vent	189
arca	39	carp	162	Faez	20	grot	137	mate	211	peru	198	schr	20	verc	142
arce	173	casf	194	Faro	10	guar	201	medi	211	pesl	207	sdna	190	vero	188
arez	190	casn	180	Fera	192	gub2	189	mesa	206	pesa	178	serm	162	vils	22
asco	175	cell	30	Figl	207	ieng	210	mila	161	petc	76	sien	202	vite	173
asti	157	cell	157	Fire	196	igle	87	mode	182	piac	194	sini	35	vlsq	163
barc	89	cesi	197	foll	163	ingr	200	mond	190	pisa	205	sirm	182	vvlo	203
bass	176	chie	206	Forl	195	lamp	211	mops	191	pord	90	sofi	212	wtzr	212
biel	159	cign	195	Form	182	lanu	85	morb	186	port	190	sora	78	zimm	212
bolo	167	citt	196	Foss	200	lari	191	moro	141	post	12	stue	188		
borg	6	coli	196	Fros	80	lasp	173	mozz	172	psan	24	taor	205		
borr	9	crac	197	Gazz	187	latl	207	mstr	178	pste	203	temp	50		
bras	193	crel	188	Gblm	197	lnss	188	notl	156	ptol	9	tera	195		
bron	189	cucc	182	Geno	196	lodi	197	nova	186	quin	27	teri	157		
brug	177	cune	176	Genv	12	losv	191	nu01	23	riet	199	todi	140		

Tabella 3.4 – Stazioni della rete ItalPoS con relativo numero di rinex

Detto che le stazioni sin qui denominate *ItalPoS* in realtà appartengono a diversi proprietari pubblici e privati, che la gestione operativa dei siti non è centralizzata e che la strumentazione è estremamente disomogenea in termini di marca e modello (non tutti i ricevitori e le antenne sono strumenti di marca Leica), la “*Preparazione del dataset*” descritta nel Cap 2.1, è in questo caso risultata particolarmente onerosa. A titolo di esempio si consideri che, per realizzare il file *station.info* contenente la descrizione della strumentazione dei diversi siti al trascorrere del tempo, è stato necessario incrociare dati talvolta incongruenti tra loro (documentazione resa disponibile da *Leica Geosystems*, informazioni tratte dal sito *web* relativo ad *ItalPoS*, *site_log* delle stazioni “scientifiche” disponibili *on-line*, evidenze ottenute dalle serie temporali risultanti da calcoli preliminari).

3.2.2 Strategie di calcolo

Il calcolo della rete ItalPoS (Barbarella et al., 2008; Barbarella et al., 2009a) è stato effettuato utilizzando i “*Parametri di calcolo comuni*” descritti nel Cap 2.2.3 e in generale, su questa rete e sulle due che verranno illustrate in seguito, sono state applicate tutte le procedure descritte nel Cap 2.

Per quanto attiene il software *Gamit*, come mostrato in Fig 3.2, la rete è stata suddivisa in 5 *cluster* in quanto essa supera il limite dimensionale pari a 99 stazioni (si veda Cap 2.2.2.2); le soluzioni giornaliere non inquadrare sono state combinate insieme tramite il *software Globk* utilizzando, come siti comuni a tutte le sottoreti, le 13 stazioni di inquadramento. L'inquadramento vero e proprio in *ITRF 2005* è stato poi effettuato tramite il pacchetto *Glorg* utilizzando nuovamente le 13 stazioni *IGS/EUREF* (illustrate nel Cap 2.2.4).

La rete è stata suddivisa in 5 *cluster* piuttosto che in 2 in quanto, utilizzando sotto-reti di 40/50 stazioni, si abbattano sensibilmente i tempi di calcolo.

Per quanto riguarda l'individuazione di valori rappresentativi della posizione di ogni singola stazione (si veda Cap 2.3.6), considerato che la rete *ItalPoS* è una rete per il posizionamento in tempo reale, l'utilizzo di valori interpolati all'epoca più recente dell'intervallo temporale considerato, è senza dubbio la scelta più idonea. Considerato che 7 mesi di dati sono più che sufficienti per la stima delle coordinate ma non lo sono per la stima accurata delle velocità, non si ritiene corretto spingersi con la propagazione a epoche esterne all'intervallo di dati disponibile. L'utilizzo dell'equazione [5] di Cap 2.3.6 è senza dubbio la scelta migliore in una situazione come quella illustrata nel grafico 3.2 (ove la spaziatura lungo l'asse delle ordinate è di 5mm, mentre lungo l'asse delle ascisse è di 0,1 *decimal year*).

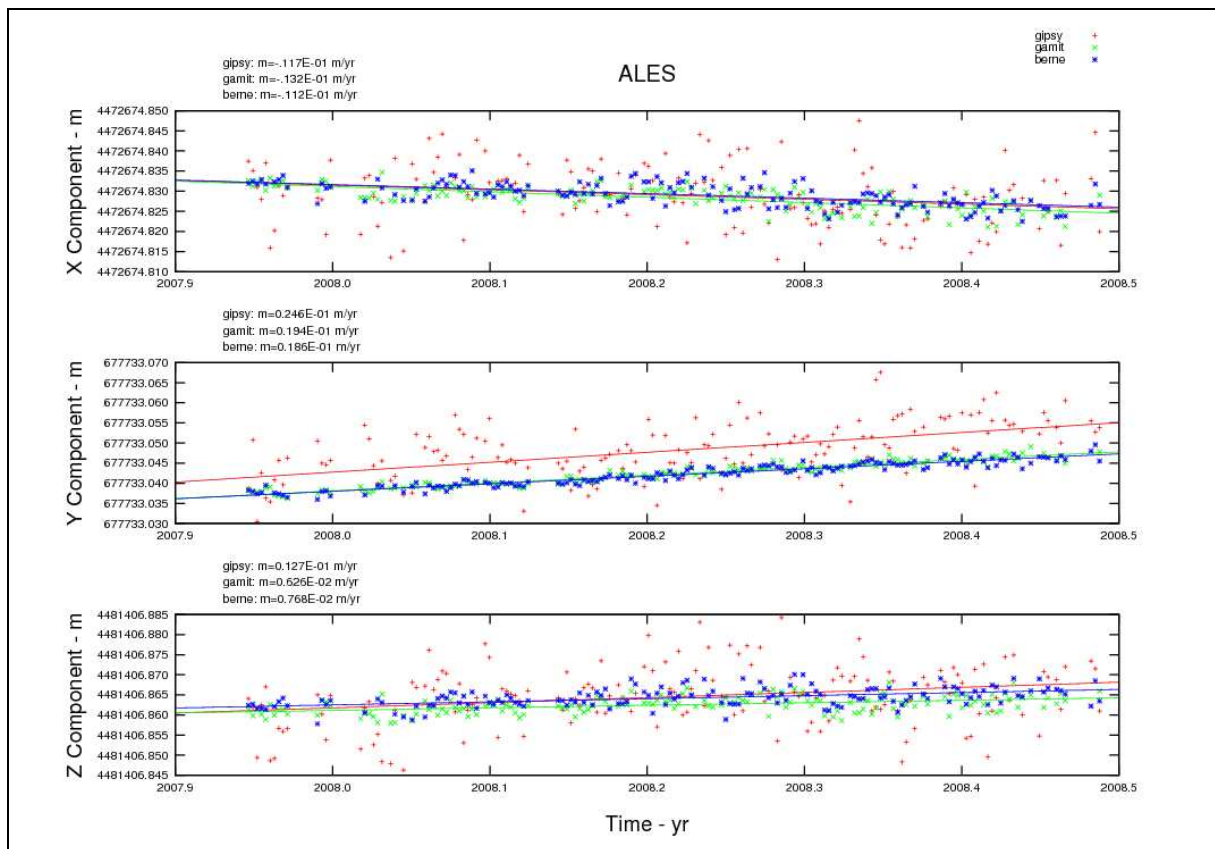


Grafico 3.2 – Esempio nel quale è corretto l'uso del valore interpolato all'epoca più recente

Viceversa, se una stazione è contraddistinta da pochi dati, a maggior ragione se detti dati sono cronologicamente lontani dall'epoca di riferimento, è indubbiamente più corretto l'utilizzo della

media espressa dalla equazione [7] di Cap 2.3.6 (si veda, a titolo di esempio, il grafico 3.3, ove la spaziatura lungo l'asse delle ordinate è di 1cm per le componenti X e Z e 2cm per la componente Y, mentre lungo l'asse delle ascisse è di 0,1 *decimal year*).

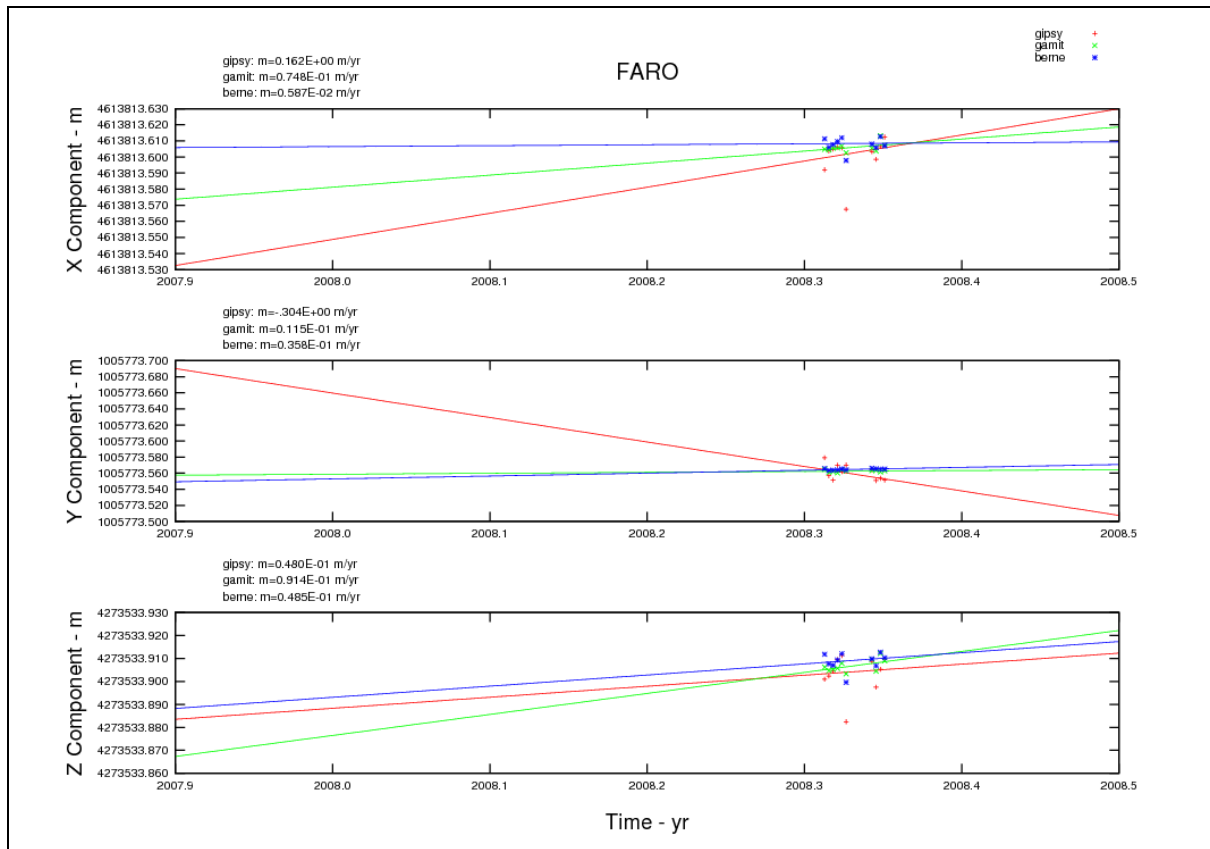


Grafico 3.3 – Esempio nel quale è corretto l'uso della media

Premesso che la “4PG” nei grafici NEU *plotta* le rette fra il primo e l'ultimo dato disponibile, mentre nei grafici XYZ *plotta* le rette tra gli estremi assegnati all'asse delle ascisse, in questo caso, gli esempi grafici, sono stati riportati in coordinate cartesiane geocentriche piuttosto che in coordinate geodetiche locali in quanto, così facendo, si enfatizza l'aspetto che si vuole evidenziare.

Come detto in precedenza la “4PG” calcola, per tutte le stazioni, sia i valori interpolati a un'epoca di riferimento t_0 specificata in fase di esecuzione (in questo caso 2008.5 *decimal year*), che i valori mediati; gli uni e gli altri con le relative indeterminazioni. L'operatore, a seguito di un'analisi manuale delle serie temporali, stilerà due elenchi:

- “da_confronto-pro.txt”: contenente i nomi delle stazioni per le quali è più corretto l'utilizzo del valore propagato;
- “da_confronto-med.txt”: contenente i nomi delle stazioni per le quali è più corretto l'utilizzo del valore mediato;

A questo punto, mediante alcune procedure appositamente previste che vengono eseguite tramite l'utilizzo di un singolo comando (se le soluzioni a confronto sono tre):

- Ai 12 file di *output* descritti nel paragrafo 2.3.6 ne verranno aggiunti 6 del tipo:

- *XYZ_mixati_all-site_soluz.txt* (e.g. *XYZ_mixati_all-site_gamit.txt*);
- *NEU_mixati_all-site_soluz.txt* (e.g. *NEU_mixati_all-site_gamit.txt*);
- Ai 12 file di *output* descritti nel paragrafo 2.3.7 ne verranno aggiunti 6 del tipo:
 - *XYZ_confronto-mix_sol01-sol02.txt* (e.g. *XYZ_confronto-mix_berne-gamit.txt*);
 - *NEU_confronto-mix_sol01-sol02.txt* (e.g. *NEU_confronto-mix_berne-gamit.txt*);
- Alle 36 mappe descritte nel paragrafo 2.3.7 ne verranno aggiunte 18 (tre coordinate per tre confronti fra soluzioni, considerando le differenze fra valori “*mixati*”, in XYZ e NEU).

Tutti i nuovi *output* descritti, sono ottenuti estraendo, dai vecchi, i valori propagati o quelli mediati a seconda di quale sia di volta in volta il valore più corretto, sulla base dei due elenchi stilati manualmente; i nuovi *output* sostituiscono i vecchi.

Per quanto riguarda la rete *ItalPoS* si è ritenuto indispensabile utilizzare i valori mediati per 16 delle 131 stazioni. Naturalmente, tutte le valutazioni che verranno riportate nel seguito, sono effettuate sulla base dei valori “*mixati*” poc’anzi descritti, piuttosto che su quelli propagati o mediati.

3.2.3 Risultati

Per quanto riguarda l’analisi statistica dei risultati descritta nel Cap 2.3.3, si veda la Tab 3.5 sotto riportata.

		rinex scartati		rigettati		clear	
		Numero	%	numero	%	numero	%
berne		3	0,01	2029	8,89	20802	91,10
gamit		89	0,39	1113	4,87	21632	94,74
gipsy		138	0,60	1101	4,82	21595	94,57

Tabella 3.5 – Tabella statistica relativa alla rete ItalPoS

dove:

- *rinex scartati* = Rinex NON processati dai singoli software
- *rigettati* = Rinex rigettati a 3σ dalla procedura “4PG”
- *clear* = Soluzioni buone
- le percentuali sono espresse rispetto ai 22834 file post filtraggio

Il numero di *rinex* scartati dai singoli *software* risulta molto basso, assai probabilmente grazie all’eliminazione preliminare dei *file* contenenti meno di 5 ore di dati.

Risulta evidente che, le soluzioni del *software Bernese* rigettate a 3σ dalla procedura “4PG”, sono apprezzabilmente in maggior numero rispetto a quelle degli altri software. Un’attenta analisi dei risultati ottenuti, ha evidenziato che il problema è circoscritto a pochi giorni nei quali però tutte le soluzioni risultano più disperse; alcuni *sinex* giornalieri del *Bernese* presentano quindi un qualche problema che merita ulteriori indagini.

Considerando le serie temporali ottenute per ogni sito e per ogni *software*, il primo confronto che è possibile effettuare è relativo alla reale dispersione delle soluzioni dei diversi codici. Come esposto in precedenza si ritiene che, la dispersione associata ad ogni componente di ogni sito per

ogni *software*, possa essere espressa, ora dall'equazione [6] ora dall'equazione [8] di Cap 2.3.6, a seconda delle caratteristiche della serie temporale (e di ciò ne tiene conto l'aver realizzato gli *output* “*mixati*”). Come più volte detto, le citate grandezze, non dipendono direttamente dalla “indeterminazione formale” dei singoli codici. Negli istogrammi 3.4-3.6 sono mostrate le dispersioni dei tre *software* a parità di componente, il tutto in coordinate geodetiche locali.

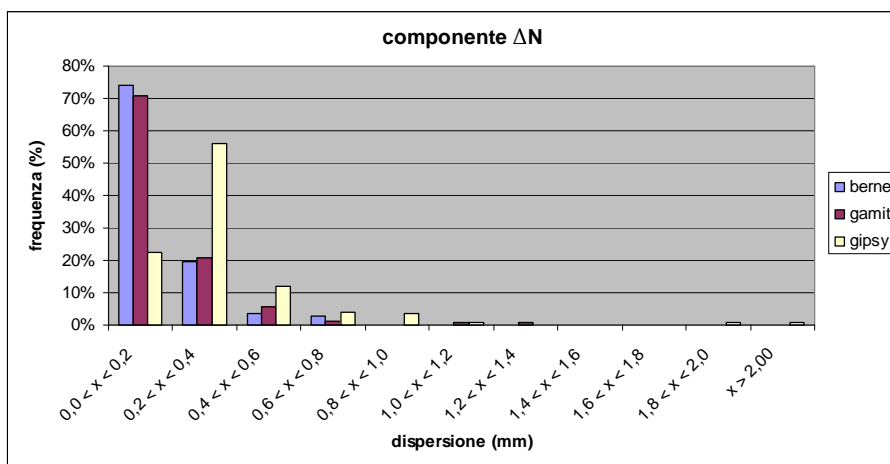


Grafico 3.4 – Istogramma della dispersione della componente ΔN per i tre software

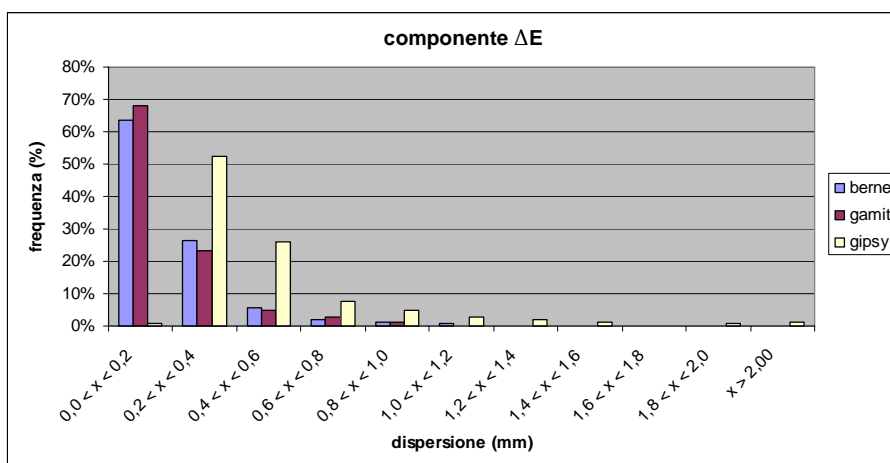


Grafico 3.5 – Istogramma della dispersione della componente ΔE per i tre software

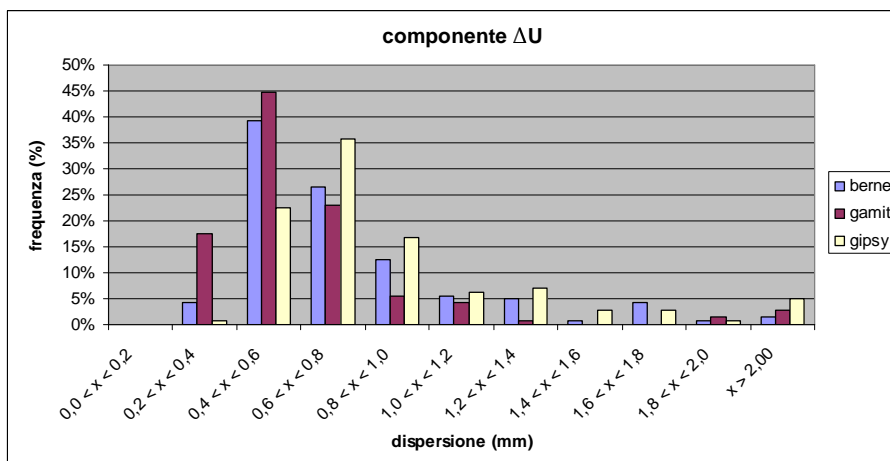


Grafico 3.6 – Istogramma della dispersione della componente ΔU per i tre software

Segue una tabella ove sono mostrati i principali parametri statistici relativi alla dispersione delle serie temporali dei tre *software* (si veda Tab 3.6); si sottolinea che in essa, e in tutto questo lavoro, i decimi di millimetro sono riportati esclusivamente per meglio apprezzare le differenze millimetriche; detto in altri termini, si ritiene che, quando si effettuano misure di posizionamento satellitare, i decimi di millimetro non siano significativi.

Software		Media (mm)	Deviazione Standard (mm)	Massimo (mm)
berne	$\sigma\Delta N$	0,2	0,1	0,7
	$\sigma\Delta E$	0,3	0,2	1,1
	$\sigma\Delta U$	0,8	0,5	4,1
gamit	$\sigma\Delta N$	0,2	0,2	1,4
	$\sigma\Delta E$	0,3	0,2	1,0
	$\sigma\Delta U$	0,7	0,5	4,0
gipsy	$\sigma\Delta N$	0,4	0,3	2,1
	$\sigma\Delta E$	0,6	0,4	3,6
	$\sigma\Delta U$	1,0	0,7	4,4

Tabella 3.6 – I principali parametri statistici relativi alla dispersione delle serie temporali dei tre software

L’analisi degli istogrammi sopra riportati e della Tab 3.6 evidenzia che, come è noto, la dispersione associata alla quota è maggiore di quella associata alle componenti planimetriche. E’ altresì evidente che la dispersione associata alle soluzioni *Gipsy* è maggiore di quella associata alle soluzioni degli altri due codici e anche questo aspetto risulta in letteratura (Jivall et al., 2005). Appare infine evidente che, tutte le soluzioni, sono contraddistinte da una bassa dispersione, a indicare che la rete *ItalPoS* non è affetta da un sistematico aumento del rumore, nonostante essa sia una rete *NRTK* che in quanto tale prevede monumentazioni a “basso costo” (Baldi et al., 2009; Beavan, 2005; D’Agostino et al., 2008).

Per quanto riguarda il confronto vero e proprio fra le posizioni ottenute con i tre software, si analizzano le differenze fra le coordinate espresse dall’equazione [9] di Cap 2.3.7 con la quale si confrontano, indifferentemente, valori propagati o valori mediati, sulla base di quanto presente negli *output* “*mixati*”.

In Tab 3.7 sono mostrati i principali parametri statistici relativi al confronto fra le tre soluzioni per tutti i siti (detta tabella è stata ottenuta grazie all’elaborazione di *output* come quello rappresentato in Fig 2.4 di Cap 2.3.7).

Differenze (mm)		berne-gamit	berne-gipsy	gamit-gipsy
ΔN	Media	-0,1	0,2	0,4
	St.dev	1,2	2,1	1,2
	Max.abs	4,8	6,8	4,7
ΔE	Media	-0,1	-4,6	-4,5
	St.dev	1,0	4,7	4,3
	Max.abs	7,1	21,6	17,9
ΔU	Media	2,1	0,4	-1,6
	St.dev	2,5	5,7	4,6
	Max.abs	9,6	18,9	18,9

Tabella 3.7 – I principali parametri statistici relativi al confronto fra le tre soluzioni

In Fig 3.3 è mostrata la distribuzione sul territorio delle differenze poc' anzi citate, omettendo il confronto “berne-gipsy”, che risulta simile al confronto “gamit-gipsy”. Le mappe di Fig 3.3 sono state ottenute tramite la procedura illustrata nel Cap 2.3.7 (si ricorda che i diversi siti sono rappresentati con dei cerchi la cui area è proporzionale alla differenza fra le due soluzioni in analisi).

Risulta evidente che le due soluzioni differenziate (*Bernese* e *Gamit*) sono assai simili fra loro (la media delle differenze è prossima allo zero e la relativa deviazione standard è assai contenuta), quanto detto risulta vero, come è giusto che sia, soprattutto per le coordinate planimetriche.

Se si analizza il confronto fra una delle soluzioni differenziate (*Bernese* o *Gamit*) e la soluzione indifferenziata (*Gipsy*), per quanto riguarda la componente Nord e la quota, si assiste a una situazione assai simile a quella vista nel confronto precedente, mentre, per la componente Est, sembra esserci un sistematismo (la soluzione *Gipsy* mediamente è maggiore delle altre di circa 5mm).

L'analisi degli istogrammi delle differenze normalizzate ottenute tramite l'equazione [11] di Cap 2.3.7, conferma la disanima poc' anzi effettuata (si vedano i grafici 3.7-3.9 ove sono mostrate le 3 coordinate geodetiche locali a parità di confronto): l'unica differenza indubbiamente significativa, risulta essere quella relativa alla coordinata Est, qualora si confronta un software differenziato con il *Gipsy*.

Però, da un'attenta analisi delle serie temporali e delle relative rette di regressione ottenute dai tre software, risulta evidente che, quasi sempre, anche in presenza del citato *bias* in Est tra *Gipsy* e le altre soluzioni, le rette sono pressoché parallele.

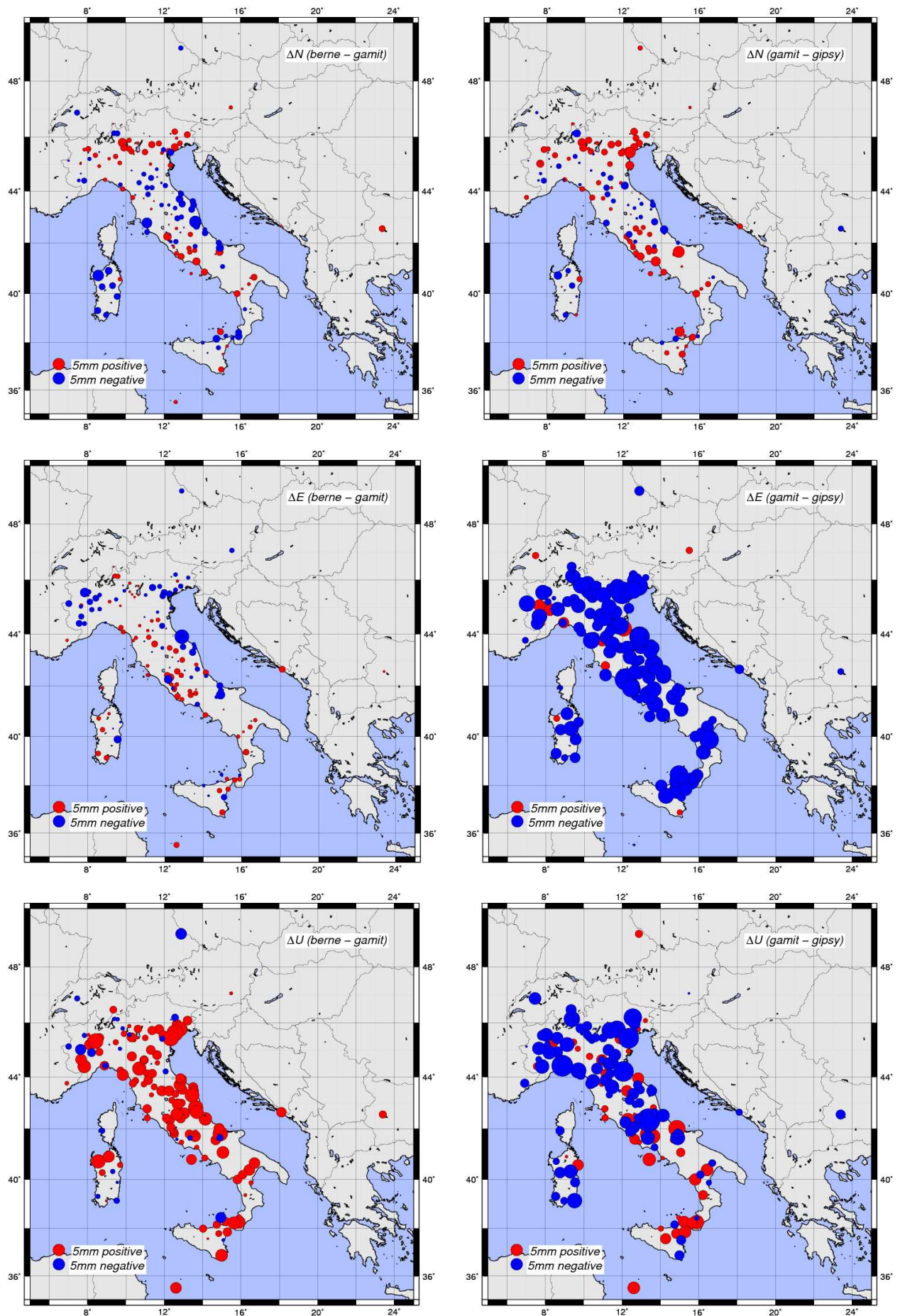


Figura 3.3 – Differenze delle soluzioni Bernese e Gipsy rispetto alla soluzione Gamit in coordinate geodetiche locali (ΔN , ΔE e ΔU)

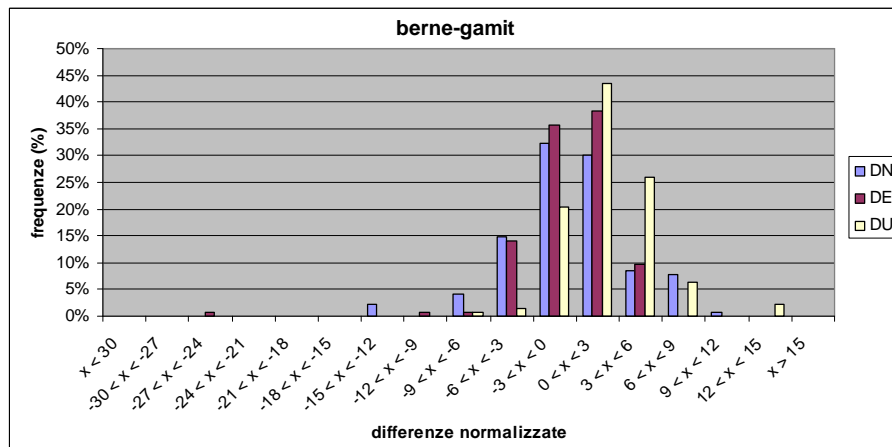


Grafico 3.7 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto Bernese vs Gamit

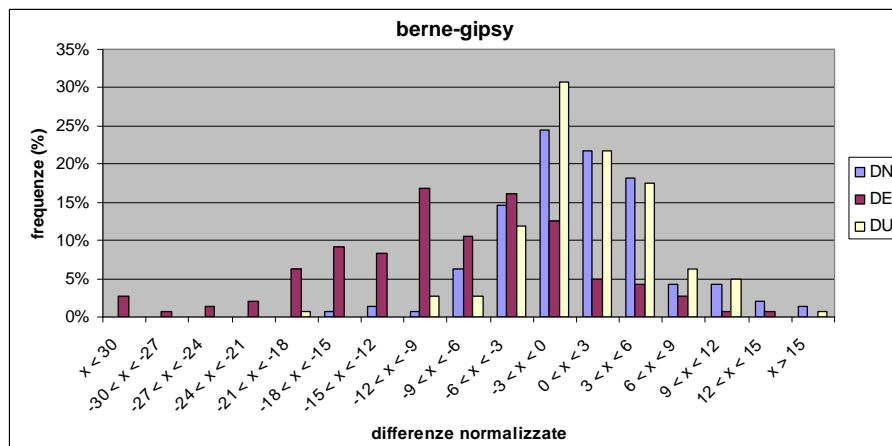


Grafico 3.8 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto Bernese vs Gipsy

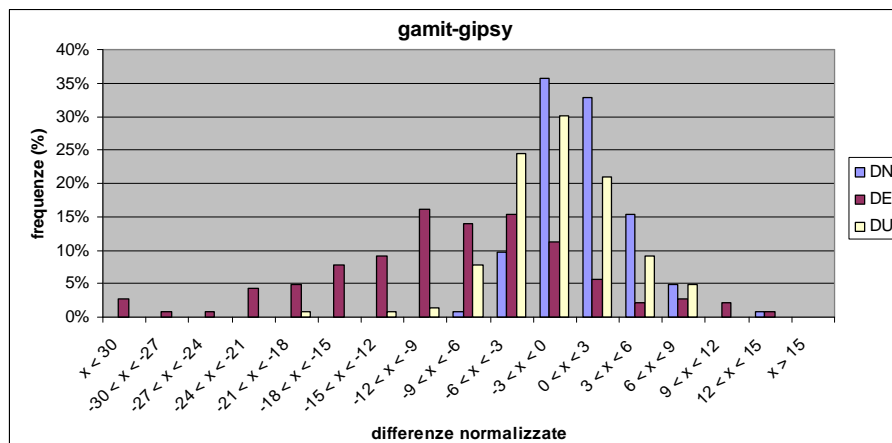


Grafico 3.9 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto Gamit vs Gipsy

3.2.4 Conclusioni

E' quindi possibile stilare le seguenti conclusioni:

- le soluzioni *Gipsy* risultano più disperse di quelle degli altri *software*, ciononostante tutte le soluzioni sono contraddistinte da una dispersione assai ridotta, a indicare una buona qualità delle monumentazioni della rete in analisi;
- la maggioranza dei siti mostra un *trend* lineare di variazione delle coordinate planimetriche che porta, nel pur limitato intervallo di tempo considerato, delle variazioni sensibili;
- le soluzioni ottenute dal *Bernese* e da *Gamit* (i due software differenziati) sono strettamente correlate;
- il terzo *software* (*Gipsy*) che utilizza il metodo indifferenziato, mostra talvolta, sulla coordinata Est, delle apprezzabili differenze numeriche rispetto alle altre soluzioni, questo fenomeno è noto in letteratura (e.g. Jivall et al., 2005) ma non se ne conoscono le motivazioni; le differenze sono però contenute in pochi millimetri e le rette che descrivono i *trend* sono comunque praticamente parallele a quelle degli altri due *software*.

3.3 RDN

3.3.1 Descrizione della rete e preparazione del dataset

Nel 2009 l'*IGMI* (Istituto Geografico Militare Italiano), che è l'autorità preposta alla definizione e al mantenimento del Sistema di Riferimento Geodetico Nazionale, ha definito una nuova struttura di riferimento nazionale (*ETRF2000*), con accuratezza centimetrica, basata su una rete di stazioni permanenti *GNSS*. Detta rete è stata denominata *RDN* (Rete Dinamica Nazionale), "Dinamica" in quanto l'*IGMI* ha pianificato di calcolare periodicamente le coordinate delle stazioni *GNSS*, al fine di considerare gli spostamenti naturali della crosta terrestre.

La *RDN* è stata istituita selezionando 98 stazioni permanenti *GNSS* fra quelle già esistenti in Italia e in aree limitrofe, di proprietà di enti pubblici o compagnie private (si veda Fig 3.4 e Tab 3.8). Dette stazioni, omogeneamente distribuite sul territorio italiano e nelle immediate vicinanze, comprendono le 13 stazioni di inquadramento *IGS/EUREF* di cui si è parlato in precedenza (si veda Cap 2.2.4).

L'*IGMI* ha realizzato il primo calcolo ufficiale della *RDN* (*IGMIb*, WP) utilizzando il *software Bernese* versione 5.0 (*BSW50*). Altri due centri di calcolo (Politecnico di Milano e Università di Padova) hanno calcolato la rete utilizzando il medesimo *software*. Al *DISTART* è stato chiesto di effettuare il calcolo utilizzando altri due *software* scientifici: *Gamit/Globk/Glorg* versione 10.34 e *Gipsy-Oasis II* Versione 5.1; il gruppo di ricerca del *DISTART* ha utilizzato anche il *software Bernese* al fine di seguire la procedura interna che contempla, per il calcolo di reti *GNSS*, l'utilizzo dei tre *software*.

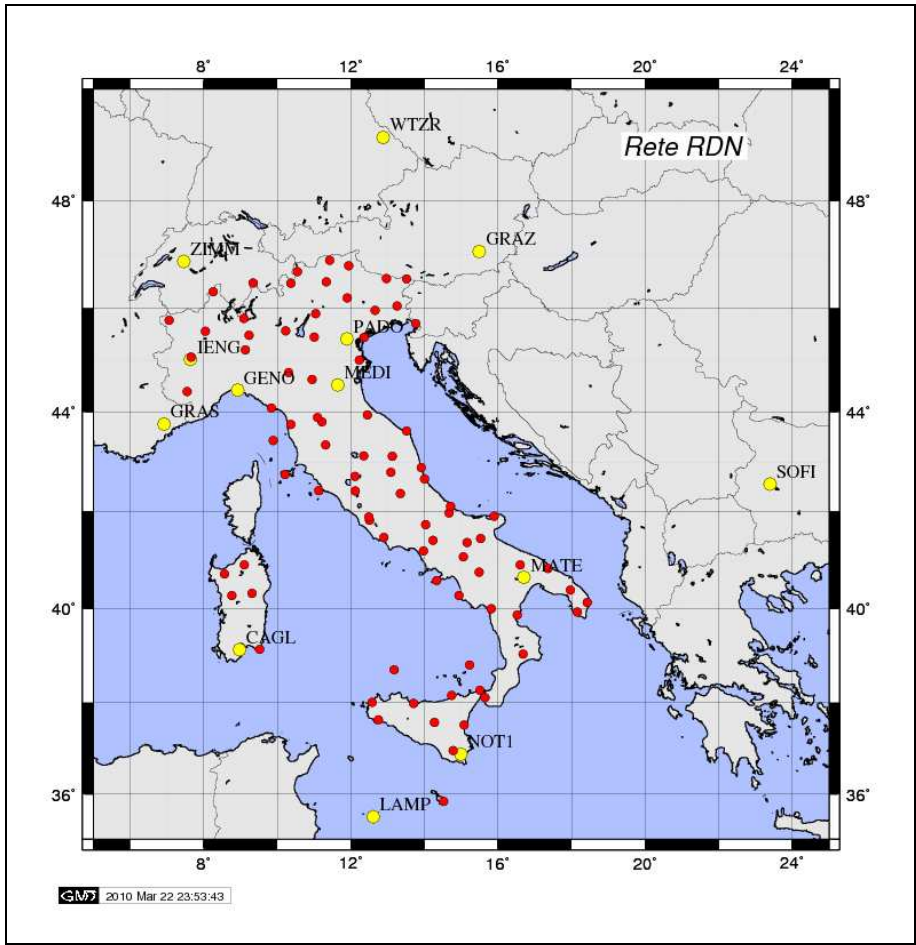


Figura 3.4 – Rete RDN (rosso) e stazioni utilizzate per l'inquadramento (giallo)

Site	gg	Site	gg	Site	Gg	Site	gg	Site	gg	Site	Gg	Site	gg	Site	gg
Acom	28	capo	25	fres	28	lasp	28	moco	27	reno	28	temp	16	vast	26
Alfe	27	cari	28	geno	28	lat1	27	mops	28	rove	26	term	26	vear	22
Amur	28	como	28	giur	28	m0se	28	mrge	18	rsmn	28	tgpo	17	vero	22
Aqui	28	comu	26	gras	28	mabz	28	mrlc	27	rsto	28	tgrc	18	vite	26
Biel	28	cucc	28	graz	28	maco	24	msru	28	sasa	28	tori	27	wtzr	28
Borm	28	cune	25	grog	28	mada	28	not1	22	sass	24	treb	21	zimm	28
Brbz	28	deve	28	grot	24	malt	27	nu01	28	sers	28	trie	28	zouf	28
Bres	28	eiiv	22	hmdc	28	maon	28	pado	12	sien	28	udil	28		
Bzrg	28	elba	28	ieng	28	mart	28	parm	28	smar	28	ugen	25		
ca06	28	enav	28	igmi	28	mate	27	pass	26	sofi	27	unov	28		
Cagl	28	enna	23	ingr	28	medi	26	pavi	28	stbz	28	unpg	28		
Came	27	fasa	28	isch	28	mila	28	pord	26	stue	28	usix	28		
Camp	26	fogg	28	lamp	28	milo	23	prat	27	svin	28	vaga	28		

Tabella 3.8 – Stazioni della rete RDN con relativo numero di rinex

Come già detto, la finestra temporale analizzata va dal *doy* 357 del 2007 al 019 del 2008 (28 giorni) per un totale di 2633 *rinex* a 30 secondi.

Per quanto riguarda il filtraggio dei dati finalizzato all’eliminazione di *rinex* che non soddisfano determinati standard qualitativi, si è scelto di eliminare i *file* con meno di 12 ore di osservazioni (altri centri di calcolo hanno scartato i *file* con meno di 23 ore di dati). Ancora una volta, si è

potuto scegliere un limite relativamente basso, in quanto la procedura di *Post-Processamento* dei dati (la “4PG”) elimina gli *outlier* a 3σ in fase di realizzazione delle rette di regressione.

Detto filtraggio ha comportato l’eliminazione di soli 38 *file* che corrispondono al 1,4% del totale, a indicare una buona qualità dei file costituenti il *dataset* iniziale (i dati in Tab 3.8 sono relativi ai 2595 *file* post filtraggio).

3.3.2 Strategie di calcolo

Considerato che la rete *RDN* è a tutti gli effetti una densificazione della *EPN* (*European Permanent Network*) il processamento (Barbarella et al., 2010) è stato effettuato, a maggior ragione, utilizzando i “*Parametri di calcolo comuni*” descritti nel Cap 2.2.3, che si ricorda essere mutuati dalle linee guida dell’*EUREF Technical Working Group*.

Per quanto attiene il software Gamit, non è stato necessario suddividere la rete in *cluster* in quanto il citato limite di 99 stazioni non è stato superato (a onor del vero, come si dirà successivamente, sono stati effettuati anche processamenti suddividendo la rete in diversi *cluster*, ma, i risultati che verranno commentati in questo capitolo, sono il frutto del calcolo a *cluster* singolo).

In merito alla scelta di un singolo valore in grado di rappresentare l’intera serie temporale di una stazione, considerata l’esigua dimensione dell’intervallo temporale analizzato, si sarebbe potuta utilizzare la media, ma, siccome il committente ha richiesto la stima delle coordinate all’epoca 2008.0, si è preferito calcolare la regressione lineare pesata e stimare successivamente, tramite l’equazione [5] di Cap 2.3.6, la coordinata all’epoca richiesta; si tenga presente che, nel caso in analisi, le differenze fra valori mediati e valori propagati sono assai piccole in quanto l’intervallo temporale analizzato è assai breve, e soprattutto l’epoca di riferimento scelta è interna a detto intervallo e quasi in posizione baricentrica.

A prescindere dalla scelta poc’anzi descritta, si è visto che, in determinate situazioni, può essere necessario, per alcune stazioni, calcolare la media piuttosto che il valore interpolato; ciò si potrebbe teoricamente verificare anche in un caso come quello in analisi, ma, l’attenta disamina manuale delle serie temporali delle stazioni *RDN*, ha escluso questa possibilità, quindi non è stato necessario utilizzare quelli che in passato sono stati chiamati valori “*mixati*” e per tutti i siti sono stati adoperati i valori propagati.

3.3.3 Risultati

L’esito dell’analisi statistica dei risultati descritta nel Cap 2.3.3 è riportato in Tab 3.9 da cui si evince, ancora una volta, che il numero di rinex scartati dai singoli software è esiguo, grazie all’eliminazione dei *file* con meno di 12 ore di osservazioni.

		rinex scartati		rigettati		clear	
		numero	%	numero	%	numero	%
berne		0	0,00	285	10,98	2310	89,02
gamit		1	0,04	80	3,08	2514	96,88
gipsy		10	0,39	56	2,16	2529	97,46

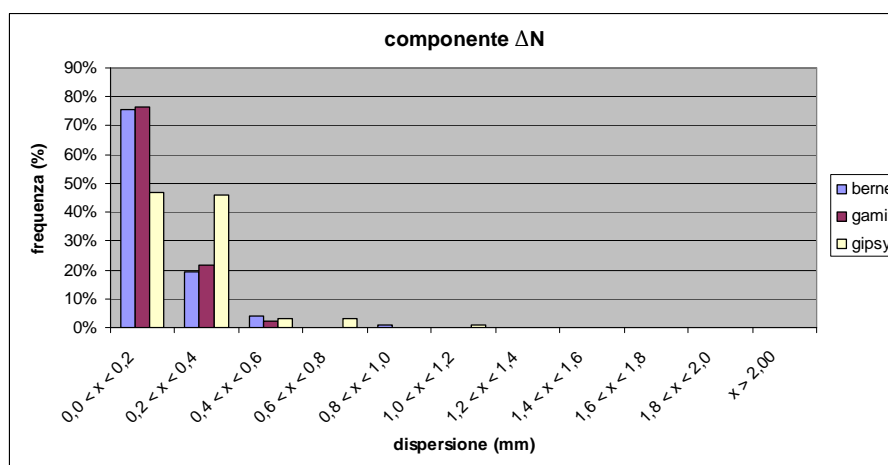
Tabella 3.9 – Tabella statistica relativa alla rete RDN

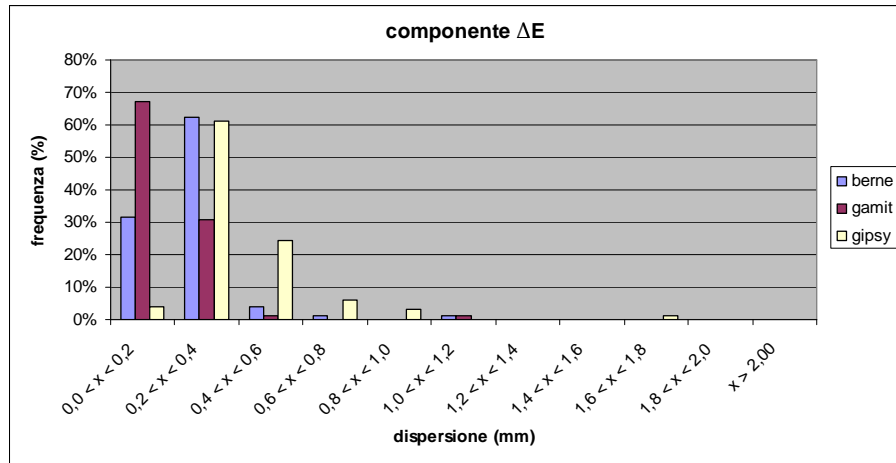
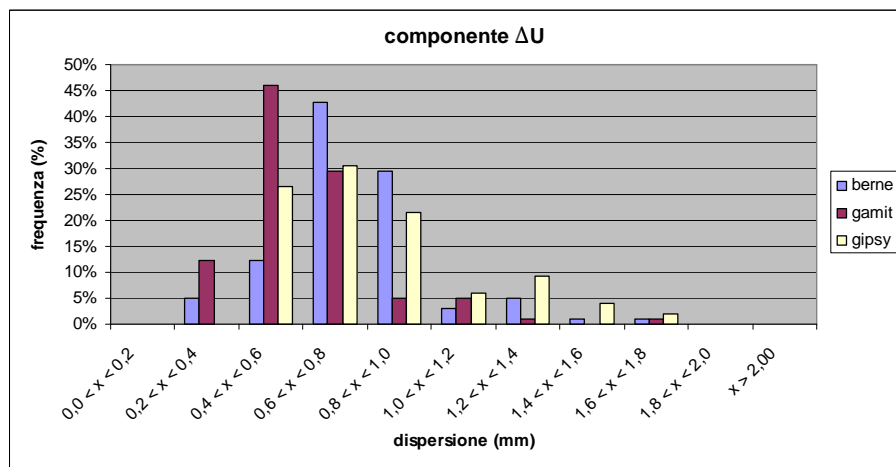
dove:

- rinex scartati = Rinex NON processati dai singoli software
- rigettati = Rinex rigettati a 3σ dalla procedura "4PG"
- clear = Soluzioni buone
- le percentuali sono espresse rispetto ai 2595 file post filtraggio

In questo caso, le soluzioni del software *Bernese* rigettate a 3σ dalla procedura "4PG", risultano 4-5 volte quelle dei software *Gamit* e *Gipsy*, in *ItalPoS* il rapporto era 2 a 1. Analizzando con attenzione i risultati ottenuti, si è verificato che, in *RDN* come in *ItalPoS* (si veda Cap 3.2.3), il problema è circoscritto a un limitato numero di giorni (*doy* 009/2008 e 010/2008) nei quali tutte le soluzioni risultano più disperse e quindi quasi sistematicamente rigettate dalla "4PG". In questo caso, due soli giorni comportano un'elevata percentuale di dati rigettati, a causa dell'intervallo temporale di ridotte dimensioni che contraddistingue la rete *RDN*.

Per quanto riguarda l'indeterminazione reale da associare alle tre componenti di ogni sito per ogni software, ottenibile dalla [6] di Cap 2.3.6, si vedano gli istogrammi 3.10-3.12 ove i risultati sono mostrati a parità di componente in coordinate geodetiche locali.

Grafico 3.10 – Istogramma della dispersione della componente ΔN per i tre software

Grafico 3.11 – Istogramma della dispersione della componente ΔE per i tre softwareGrafico 3.12 – Istogramma della dispersione della componente ΔU per i tre software

Segue una tabella ove sono mostrati i principali parametri statistici relativi alla dispersione delle serie temporali dei tre *software* (si veda Tab 3.10).

Software		Media (mm)	Deviazione Standard (mm)	Massimo (mm)
berne	$\sigma\Delta N$	0,2	0,1	1,0
	$\sigma\Delta E$	0,3	0,1	1,1
	$\sigma\Delta U$	0,8	0,2	1,8
gamit	$\sigma\Delta N$	0,2	0,1	0,6
	$\sigma\Delta E$	0,2	0,1	1,1
	$\sigma\Delta U$	0,7	0,2	1,8
gipsy	$\sigma\Delta N$	0,3	0,2	1,2
	$\sigma\Delta E$	0,4	0,2	1,8
	$\sigma\Delta U$	0,9	0,3	1,8

Tabella 3.10 – I principali parametri statistici relativi alla dispersione delle serie temporali dei tre software

Le valutazioni che si possono compiere coincidono con quelle fatte analizzando la rete *ItalPoS*: risulta evidente che la dispersione associata alla quota è maggiore rispetto a quella associata alle

componenti planimetriche, è inoltre evidente che la dispersione delle soluzioni *Gipsy* è maggiore rispetto alla dispersione delle soluzioni *Bernese* e *Gamit*, risulta infine che tutte le soluzioni hanno comunque una bassa dispersione, a indicare una buona qualità delle monumentazioni delle stazioni che costituiscono la *RDN*.

3.3.3.1 Confronto tra la soluzione IGMI e la soluzione DISTART

Il primo confronto che si intende mostrare è relativo alle due soluzioni ottenute dall'*IGMI* e dal *DISTART* tramite lo stesso software (il *Bernese*).

Della soluzione *IGMI* (*IGMIc*, WP) si possiede solo un valore rappresentativo per ogni coordinata di ogni sito (nelle *Web Page IGMI* non sono pubblicate le serie temporali delle diverse stazioni), detti valori sono espressi in coordinate geocentriche.

In Tab 3.11 sono mostrati i principali parametri statistici relativi al campione ottenuto sottraendo, alle coordinate cartesiane geocentriche di tutti i siti calcolate dall'*IGMI*, quelle calcolate dal *DISTART*, (in particolare sono mostrati: media, deviazione standard e valore assoluto della massima differenza).

berne_IGMI - berne_DISTART		
componente	parametro	differenze (mm)
ΔX	Media	-0,6
	St.dev	1,5
	Max.abs	7,4
ΔY	Media	0,1
	St.dev	0,5
	Max.abs	2,0
ΔZ	Media	-0,6
	St.dev	1,4
	Max.abs	5,8

Tabella 3.11 – I principali parametri statistici relativi al confronto Bernese IGMI vs Bernese DISTART

Le citate differenze sono state rappresentate anche in un istogramma (si veda grafico 3.13) e in mappe che mostrano altresì la loro distribuzione sul territorio (si veda Fig 3.5 che è stata ottenuta con la procedura descritta nel Cap 2.3.7).

Le differenze riscontrate: medie al di sotto del millimetro e deviazioni standard di 1-2 millimetri, sembrano non significative, anche alla luce del fatto che, alle latitudini e longitudini considerate, maggiori differenze sulle coordinate X e Z, indicano maggiori differenze in quota, che, come sempre, risulta essere più sensibile della planimetria.

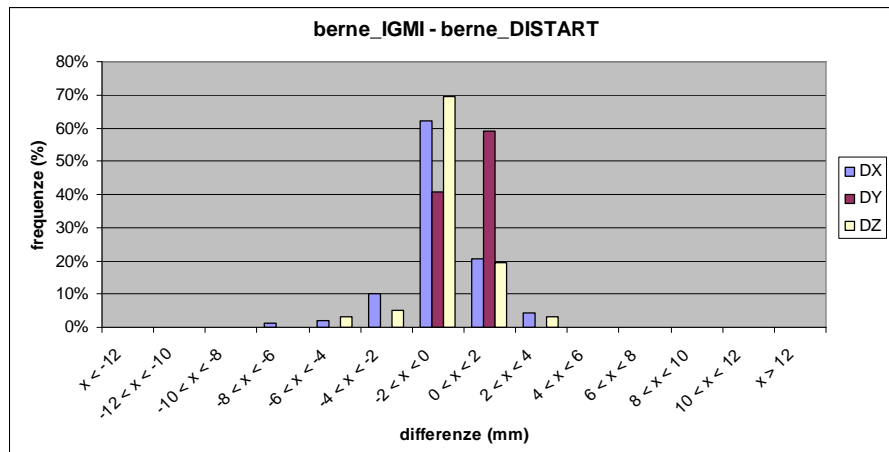


Grafico 3.13 – Istogramma delle differenze relative al confronto Bernese IGMI vs Bernese DISTART

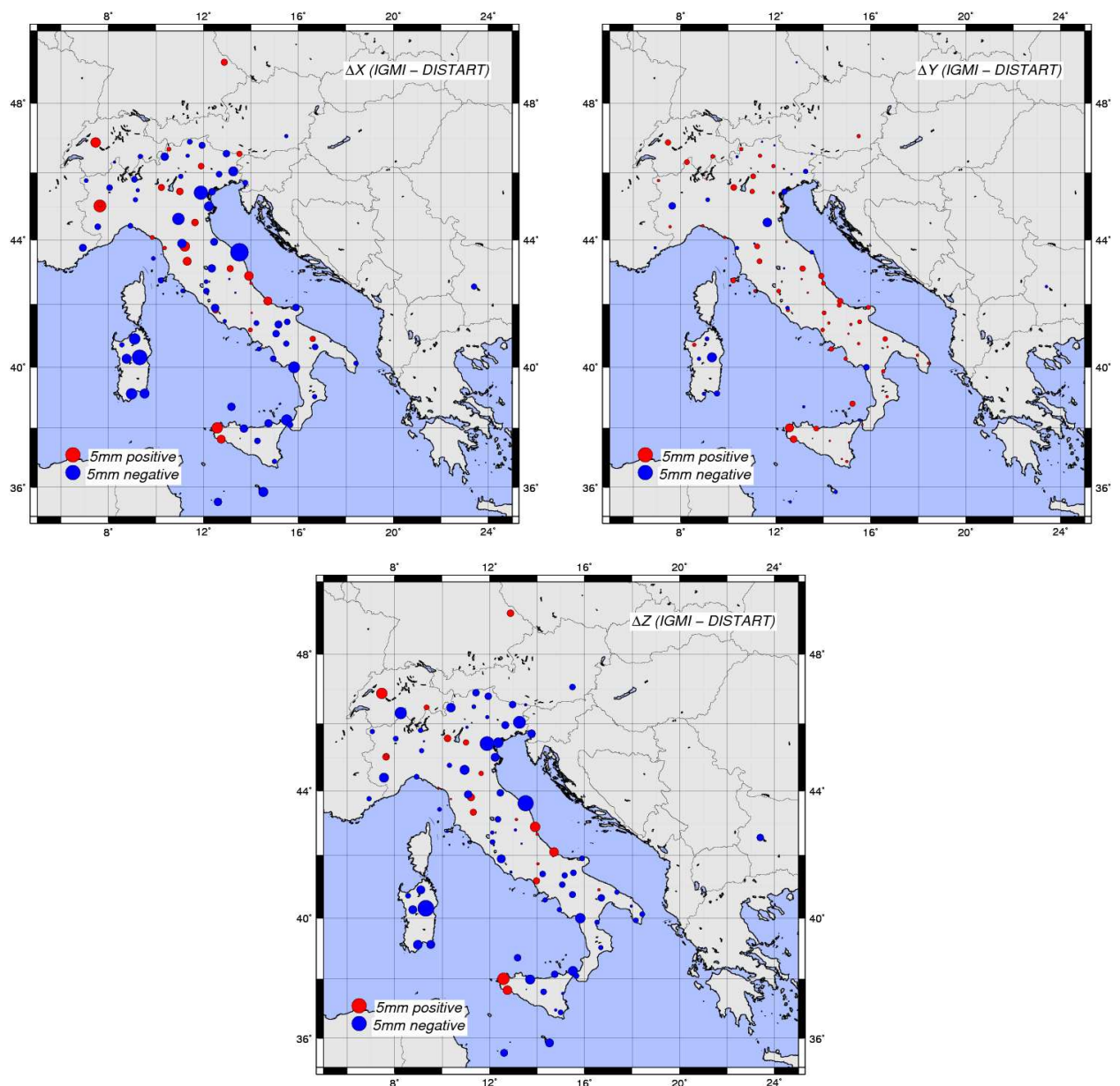


Figura 3.5 – Differenze delle soluzioni Bernese IGMI rispetto alle soluzioni Bernese DISTART in coordinate cartesiane geocentriche (XYZ)

Premesso che le due soluzioni sono state ottenute a partire dallo stesso *dataset* e utilizzando le medesime linee guida dell'*EUREF TWG*, le seppur piccole differenze, si giustificano quasi certamente con l'eliminazione dei file contenenti meno di 12 ore di dati operata soltanto dal *DISTART* e le differenti procedure di "Post-Processamento" dei risultati (a titolo di esempio si pensi al rigetto degli *outlier* a 3σ operato esclusivamente dal *DISTART*).

Le differenze qui descritte sono del tutto simili a quelle riscontrate fra le soluzioni dell'*IGMI* e quelle degli altri centri di calcolo (Politecnico di Milano e Università di Padova) pubblicate nelle *Web Page* ufficiali dell'*IGMI* (*IGMIc*, WP).

3.3.3.2 Confronto tra le soluzioni DISTART: Bernese, Gamit e Gipsy

In merito al confronto fra le tre soluzioni ottenute dal *DISTART* tramite i tre *software*, si mostrano: la Tab 3.12 ove sono riportati i principali parametri statistici delle tre differenze fra soluzioni e Fig 3.6 ove sono rappresentate dette differenze e la loro distribuzione sul territorio, omettendo il confronto "*berne-gipsy*" che risulta essere assai simile al confronto "*gamit-gipsy*".

Differenze (mm)		berne-gamit	berne-gipsy	gamit-gipsy
ΔN	Media	0,1	0,0	-0,1
	St.dev	0,7	1,0	0,7
	Max.abs	3,2	2,6	2,4
ΔE	Media	0,2	-3,9	-4,1
	St.dev	0,5	4,4	4,4
	Max.abs	2,1	16,6	16,7
ΔU	Media	-0,2	2,2	2,3
	St.dev	2,7	5,6	4,5
	Max.abs	12,1	17,7	15,1

Tabella 3.12 – I principali parametri statistici relativi al confronto fra le tre soluzioni

Le due soluzioni differenziate (*Bernese* e *Gamit*) sono ancora una volta assai simili fra loro; le differenze riscontrate sono del tutto analoghe a quelle ottenute confrontando le soluzioni dell'*IGMI* e del *DISTART* a parità di software (si veda a titolo di esempio Tab 3.11 di Cap 3.3.3.1 ricordando però che, nei due casi, sono stati giocoforza utilizzati diversi sistemi di riferimento).

Analizzando il confronto fra la soluzione indifferenziata (*Gipsy*) e una delle due soluzioni differenziate (*Bernese* o *Gamit*), si osservano esigue differenze relativamente alla componente Nord, differenze leggermente maggiori rispetto al confronto *berne-gamit* per quanto riguarda la quota e sensibili differenze sulla componente Est.

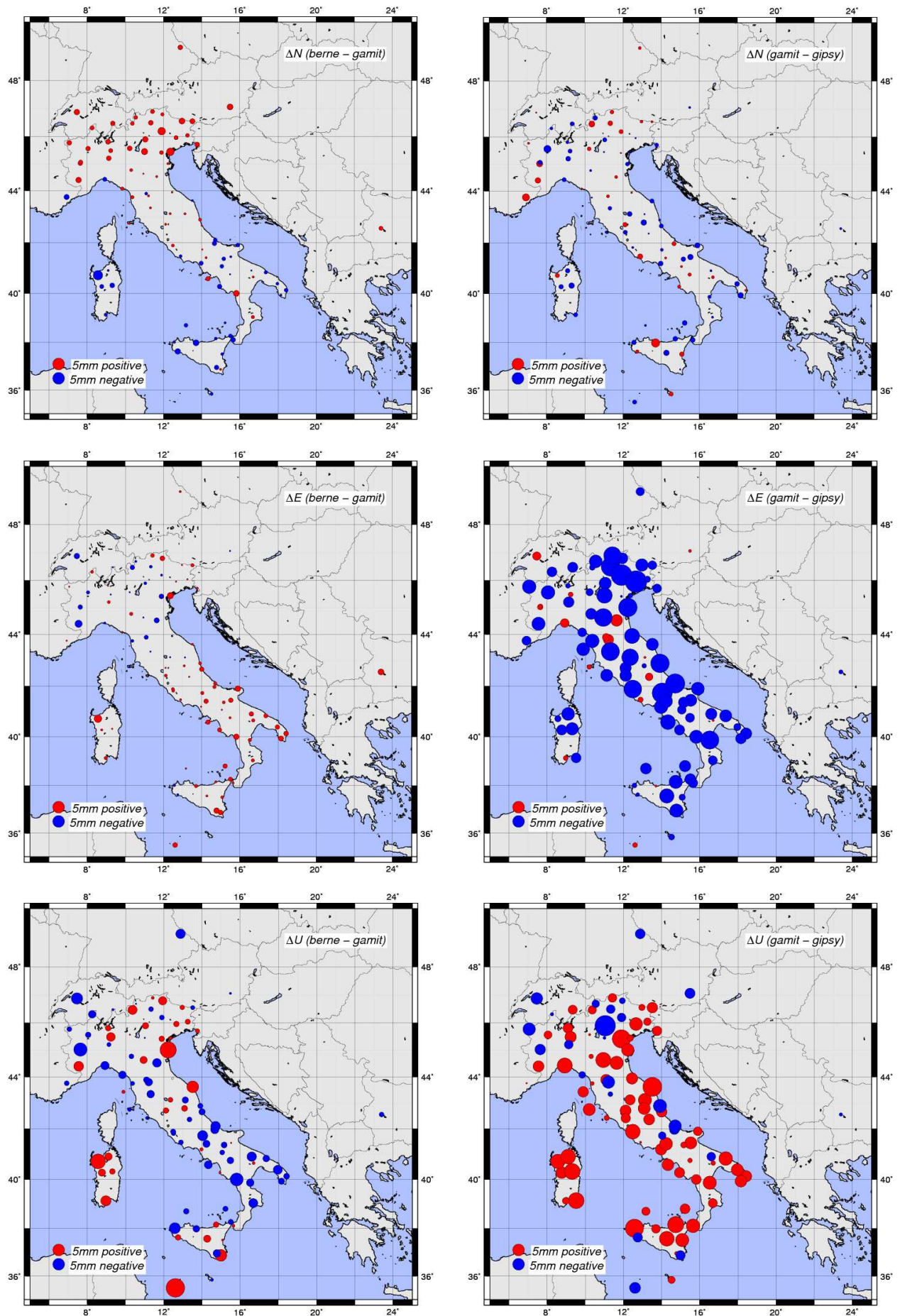


Figura 3.6 – Differenze delle soluzioni Bernese e Gipsy rispetto alla soluzione Gamit in coordinate geodetiche locali (ΔN , ΔE e ΔU)

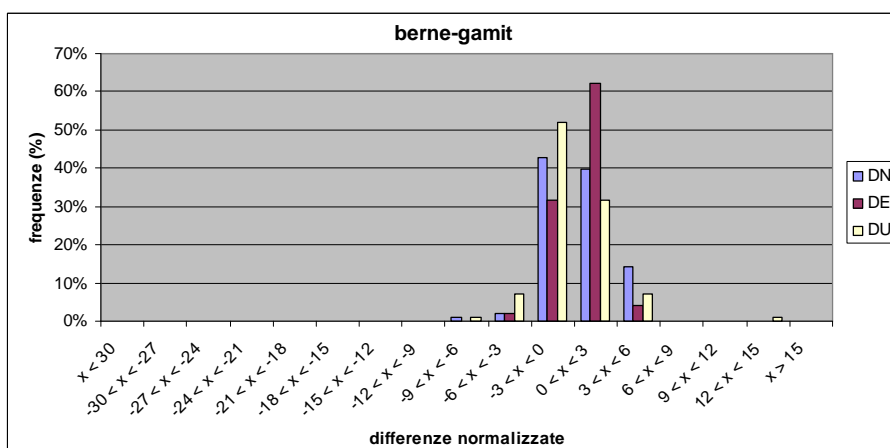


Grafico 3.14 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto Bernese vs Gamit

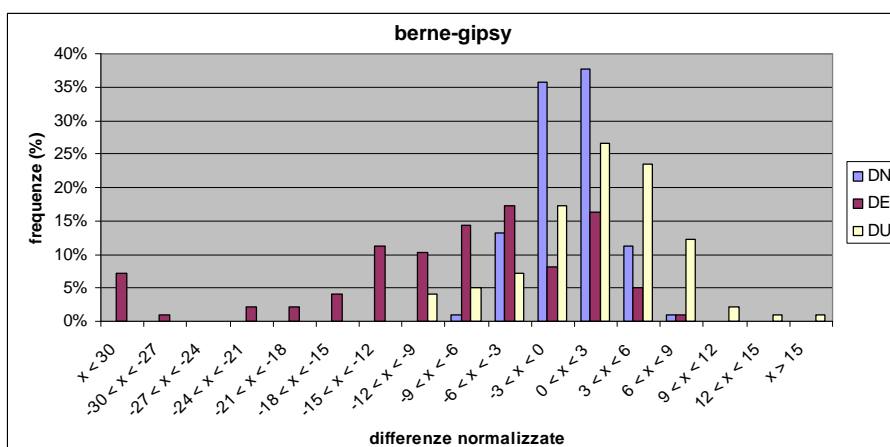


Grafico 3.15 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto Bernese vs Gipsy

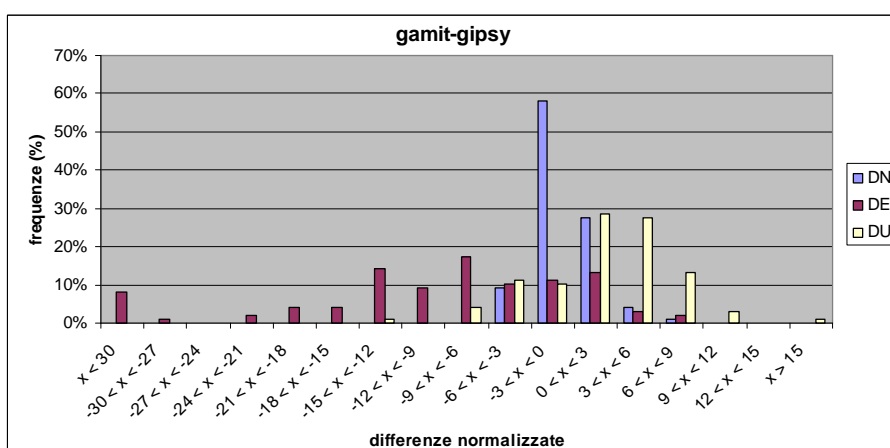


Grafico 3.16 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto Gamit vs Gipsy

L'analisi degli istogrammi delle differenze normalizzate ottenute tramite l'equazione [11] di Cap 2.3.7, conferma il quadro poc'anzi descritto (si vedano i grafici 3.14-3.16 ove sono mostrate le 3 coordinate geodetiche locali a parità di confronto); il quadro descritto coincide quasi con quanto riscontrato analizzando la rete *ItalPoS* (si veda Cap 3.2.3).

Tramite un'attenta analisi delle differenze sulla coordinata Est tra le soluzioni *Gipsy* e quelle differenziate, si è notato che le maggiori difformità si hanno in corrispondenza di alcune combinazioni Antenna/Radome; in particolare tutte le stazioni che montano le seguenti antenne:

- LEIAT504GG LEIS (5/98 stazioni)
- LEIAT504GG NONE (2/98 stazioni)
- TRM29659.00 UNAV (4/98 stazioni)

presentano una differenza in Est che supera il centimetro.

Nel seguito si riportano: una tabella ove sono mostrati i principali parametri statistici delle tre differenze tra soluzioni (si veda Tab 3.13) e gli istogrammi delle differenze normalizzate (si vedano i grafici 3.17-3.19), relativi a soluzioni, dette “*trimmed*”, nelle quali sono state eliminate le 11 stazioni che montano le poc'anzi citate combinazioni Antenna/Radome.

Differenze (mm)		berne-gamit	berne-gipsy	gamit-gipsy
ΔN	Media	0,1	0,0	-0,1
	St.dev	0,7	1,0	0,7
	Max.abs	3,2	2,6	2,4
ΔE	Media	0,2	-2,6	-2,8
	St.dev	0,6	2,9	3,0
	Max.abs	2,1	8,6	8,6
ΔU	Media	-0,2	2,3	2,4
	St.dev	2,6	5,3	4,4
	Max.abs	12,1	17,7	15,1

Tabella 3.13 – I principali parametri statistici relativi al confronto fra le tre soluzioni trimmed

Il confronto tra le tabelle 3.12 e 3.13, mostra che, le differenze sulla componente Est tra le soluzioni *Gipsy* e quelle differenziate, si sono sensibilmente ridotte passando dalle soluzioni “normali” alle soluzioni “*trimmed*”, mentre gli altri confronti e le altre coordinate non hanno subito cambiamenti apprezzabili.

Però, l'analisi degli istogrammi delle differenze normalizzate, conferma sì quanto poc'anzi detto, ma mostra che, nelle soluzioni “*trimmed*”, continua ad esserci un sistematismo relativo alla componente Est nei confronti *Gipsy* vs soluzioni differenziate (nei grafici 3.18 e 3.19 sono scomparse le code che interessavano la componente Est, ma le relative differenze normalizzate continuano ad essere lontane dallo zero e la loro distribuzione è asimmetrica).

Sembra esserci una relazione fra il *bias* in analisi e la presenza delle citate antenne, però, detta presenza non è in grado di giustificare appieno il *bias* stesso. Questo aspetto merita indubbiamente ulteriori approfondimenti.

Va però sottolineato che il *bias* massimo è dell'ordine del centimetro e che esso mediamente è di pochi millimetri.

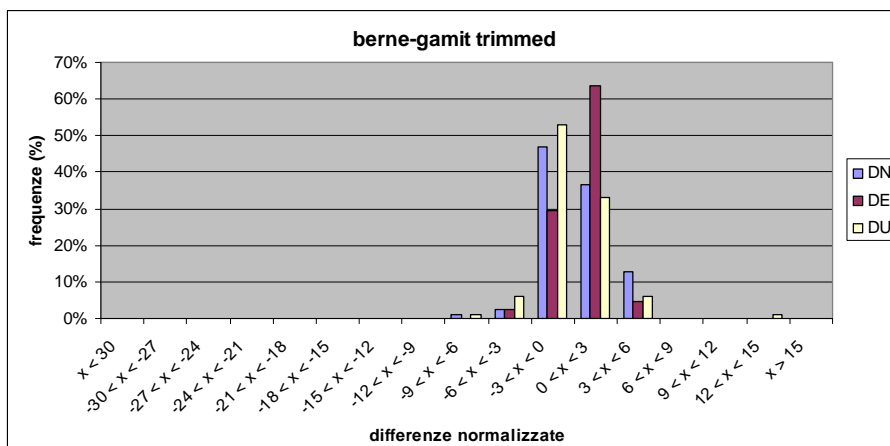


Grafico 3.17 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto Bernese trimmed vs Gamit trimmed

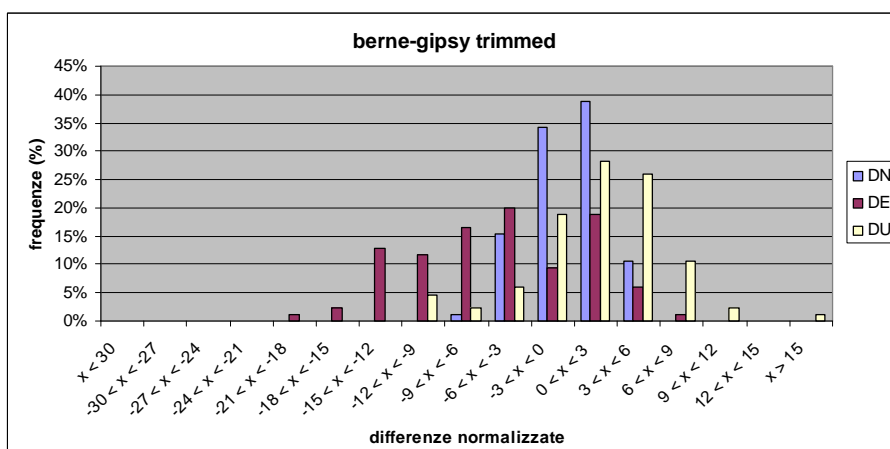


Grafico 3.18 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto Bernese trimmed vs Gipsy trimmed

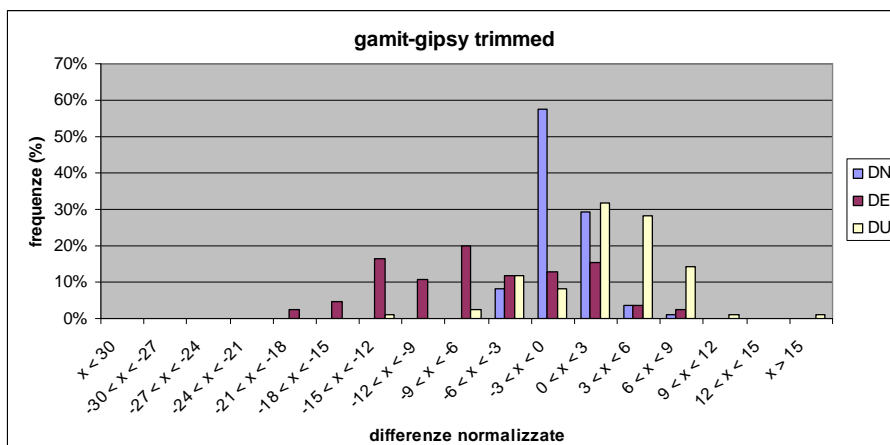


Grafico 3.19 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto Gamit trimmed vs Gipsy trimmed

3.3.4 Conclusioni

Si può quindi concludere che:

- le soluzioni ottenute dal *DISTART* con il *software Bernese* sono in ottimo accordo con quelle ottenute dall'*IGMI*;
- le soluzioni *Gipsy* mostrano una dispersione leggermente maggiore di quella degli altri software, comunque tutte le soluzioni sono contraddistinte da una dispersione assai ridotta, a indicare una buona qualità delle stazioni permanenti che costituiscono la rete *RDN*;
- le soluzioni ottenute con il *software Bernese* sono in ottimo accordo con quelle ottenute con il *software Gamit*;
- le soluzioni *Gipsy* continuano a mostrare differenze significative rispetto alle altre soprattutto per quanto attiene la coordinata Est e soprattutto in presenza di determinate combinazioni Antenna/Radome; le differenze però sono mediamente contenute in pochi millimetri.

3.4 SoGER

3.4.1 Descrizione della rete e preparazione del dataset

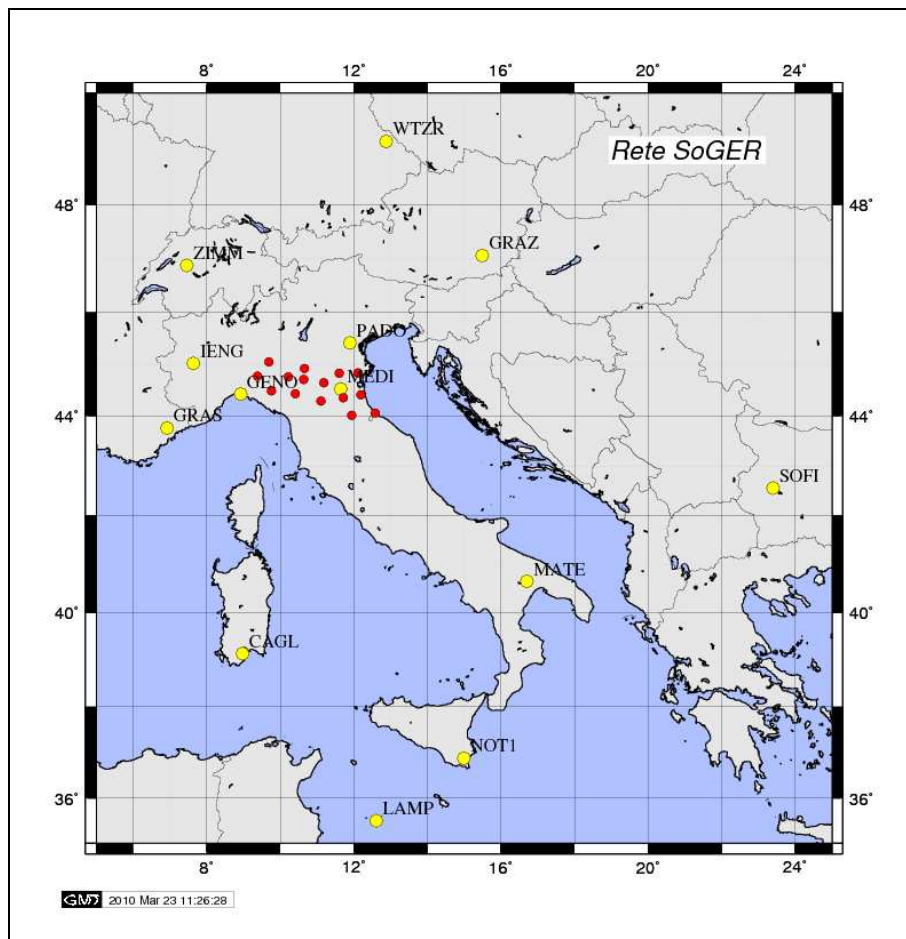


Figura 3.7 – Rete SoGER (rosso) e stazioni IGS/EUREF utilizzate per l'inquadramento (giallo)

La rete *SoGER* è una rete regionale di stazioni permanenti per il posizionamento in tempo reale, di proprietà dell'omonima Società dei Geometri dell'Emilia Romagna (So.G.E.R.).

La rete *SoGER* copre omogeneamente il territorio regionale tramite 15 stazioni dotate di ricevitori a doppio sistema (*GPS* e *GLONASS*), con antenne riceventi stabilmente materializzate su tetti di edifici. La strumentazione adottata è omogenea (sia per quanto riguarda i ricevitori che per quanto attiene le combinazioni Antenna/Radome) in quanto la realizzazione fisica della rete è stata assegnata ad un'unica ditta (*Geotop*) che, attualmente, provvede anche alla sua gestione.

La rete è divenuta pienamente operativa all'inizio del 2009 dopo un opportuno periodo di test e messa appunto.

I gestori della rete hanno messo a disposizione i *rinex* a 30 secondi delle 15 stazioni relativi ad un intervallo di tempo di 775 giorni (dal *doy* 040/2007 al *doy* 083/2009), a cui sono stati aggiunti i dati delle 13 stazioni di inquadramento *IGS/EUREF* sin qui utilizzate (si veda Cap 2.2.4). Il processamento in oggetto è quindi relativo a 28 stazioni (si veda Fig 3.7 e Tab 3.14), per un totale di 16599 *file* giornalieri.

Site	gg	Site	gg	Site	gg	Site	gg
bobb	107	geno	654	lamp	657	rave	517
cagl	774	gras	736	mate	774	regg	290
cast	675	graz	774	medi	696	sofi	768
civi	204	guas	627	not1	676	taro	509
codi	442	ieng	762	pado	608	verg	517
coll	467	itim	570	pers	661	wtzr	774
ferr	547	itrn	548	piac	400	zimm	775

Tabella 3.14 – Stazioni della rete SoGER con relativo numero di rinex

Al fine di rimuovere *file* con un numero di osservazioni ritenuto modesto, sono stati eliminati i *rinex* con meno di 6 ore di dati, così facendo sono stati scartati 90 *file* che corrispondono circa allo 0,5% del totale, a indicare una buona qualità dei file costituenti il *dataset* iniziale (i dati in Tab 3.14 sono relativi ai 16509 *rinex* post filtraggio).

3.4.2 Strategie di calcolo

Il calcolo della rete *SoGER* (Barbarella et al., 2009b), come gli altri, è stato effettuato utilizzando i “*Parametri di calcolo comuni*” descritti nel Cap 2.2.3 e applicando tutte le procedure illustrate nel Cap 2, però, in luogo dei tre *software*, ne sono stati utilizzati due soltanto (*Gamit* e *Gipsy*).

Naturalmente, considerato il numero di stazioni che costituiscono la rete *SoGER*, *Gamit* è stato utilizzato senza suddividere la rete in *cluster* (si veda Cap 2.2.2.2).

Per quanto riguarda l'individuazione di valori rappresentativi della posizione di ogni singola stazione (si veda Cap 2.3.6), considerato che la rete *SoGER*, come la rete *ItalPoS*, è una rete per il posizionamento in tempo reale, l'utilizzo di valori interpolati all'epoca più recente dell'intervallo temporale considerato, è senza dubbio la scelta più idonea. A tal fine si è utilizzata l'equazione [5] di Cap 2.3.6, usando, come epoca di riferimento t_0 , 2009.2 *decimal year*.

Le serie temporali delle stazioni che costituiscono la rete *SoGER* sono di lunghezza assai variabile, in quanto, essendo la rete in attività solo dal gennaio 2009, alcune stazioni hanno

iniziato a funzionare verso la fine del periodo in analisi, mentre altre hanno subito interruzioni per la messa a punto (in particolare BOBB, CIVI e REGG hanno funzionato esclusivamente nella seconda metà dell'intervallo temporale considerato). Nonostante quanto poc'anzi detto, l'attenta analisi delle serie temporali, ha evidenziato che in nessun caso è necessario l'utilizzo della media in luogo del valore interpolato, in quanto i dati sono sempre in numero sufficiente e almeno in parte prossimi all'epoca di riferimento scelta.

Come detto in precedenza, la rete *SoGER* è omogenea dal punto di vista della strumentazione: tutti i ricevitori sono dei *Topcon Odissey* (sigla standard *IGS*: TPS ODYSSEY_E) e le antenne delle *Topcon CR-3* con *Radome Cone* (sigla standard *IGS*: TPSCR3_GGD CONE). Per detta combinazione Antenna/Radome sono disponibili:

- la calibrazione relativa fornita dal *National (U.S.A.) Geodetic Survey (NGSa, WP)*;
- la calibrazione assoluta mutuata dalla relativa *NGS (NGSb, WP)*.

I gestori della rete hanno inoltre fornito:

- la calibrazione assoluta con correzioni sia in elevazione che azimutali misurata dalla *Geo++ GmbH (Geo++, WP)* valida per tutti gli esemplari di antenna modello: TPSCR3_GGD CONE (che d'ora innanzi verrà indicata con la dizione “calibrazione assoluta unica”);
- i certificati di calibrazione assoluta effettuati tarando i singoli esemplari di 12 delle 15 stazioni (CIVI, ITRN e PIAC sono le 3 stazioni prive di certificati “individuali”), calcolati sempre dalla *Geo++ GmbH*.

Si ricorda che:

- la calibrazione assoluta mutuata dalla relativa *NGS* viene ottenuta sommando, alla calibrazione relativa *NGS* di un'antenna, la calibrazione assoluta dell'antenna AOAD/M_T, che *NGS* ha utilizzato come riferimento per ottenere le proprie calibrazioni relative (*NGSc, WP*);
- la calibrazione relativa *NGS* e quella assoluta mutuata dalla relativa *NGS*, prevedono esclusivamente le correzioni in elevazione;
- dall'intestazione del file delle calibrazioni assolute distribuito dall'*IGS (IGSc, WP)* risulta che, tutte le calibrazioni assolute “vere” in esso contenute, sono fornite dalla *Geo++ GmbH*.

Si sottolinea che:

- il file delle calibrazioni assolute distribuito dall'*IGS*, sino alla sua versione “*igs05_1575.atx*” (realizzata nella settimana *GPS 1575* cioè nel marzo 2010), contiene, dell'antenna in analisi, la sola calibrazione assoluta mutuata dalla relativa *NGS*.

I risultati discussi nel seguito, a meno di diversa indicazione, sono stati ottenuti utilizzando i certificati di calibrazione assoluta “individuali” per 12/15 stazioni e la “calibrazione assoluta unica” per le rimanenti 3. A tal fine, il file delle calibrazioni assolute dell'*IGS*, è stato modificato manualmente aggiungendo le 12+1 calibrazioni assolute, fonte *Geo++*, attribuendo loro dei nomi di fantasia e impostando i *software* di calcolo in modo opportuno.

3.4.3 Risultati

L'analisi statistica dei risultati descritta nel Cap 2.3.3 non presenta novità rispetto agli altri *dataset* analizzati (si veda Tab 3.15):

		Rinex scartati		Rigettati		clear	
		numero	%	numero	%	numero	%
gamit		19	0,12	946	5,73	15544	94,15
gipsy		210	1,27	970	5,88	15329	92,85

Tabella 3.15 – Tabella statistica relativa alla rete SoGER

dove:

- rinex scartati = Rinex NON processati dai singoli software
- rigettati = Rinex rigettati a 3σ dalla procedura "4PG"
- clear = Soluzioni buone
- le percentuali sono espresse rispetto ai 16509 file post filtraggio

Il numero di *rinex* scartati dai singoli *software* risulta basso probabilmente grazie all'eliminazione preliminare dei *file* con meno di 6 ore di dati, mentre il numero di soluzioni scartate a 3σ dalla procedura "4PG" è di poche unità percentuali.

Per quanto riguarda l'indeterminazione reale da associare alle tre componenti di ogni sito per ogni *software*, ottenibile dalla [6] di Cap 2.3.6, si vedano gli istogrammi 3.20-3.22 ove i risultati sono mostrati a parità di componente in coordinate geodetiche locali.

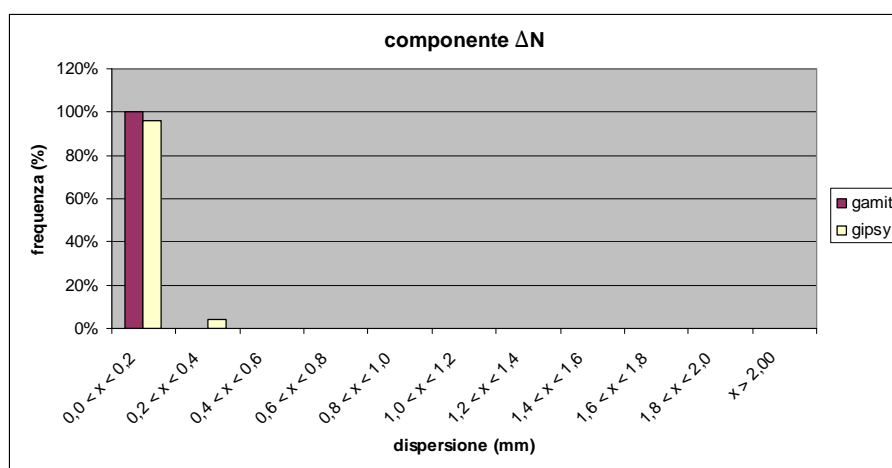


Grafico 3.20 – Istogramma della dispersione della componente ΔN per i due software

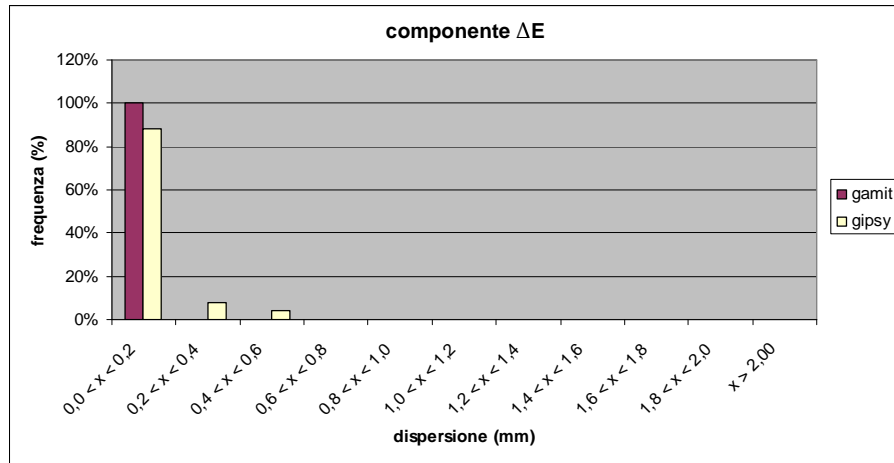


Grafico 3.21 – Istogramma della dispersione della componente ΔE per i due software

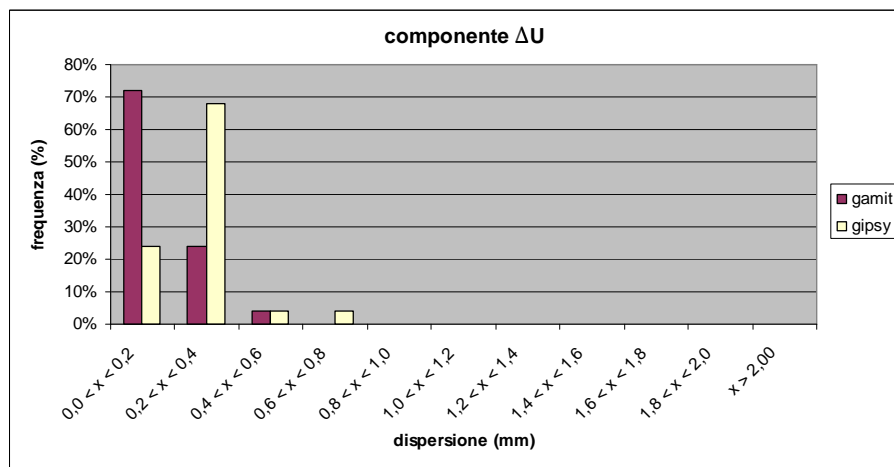


Grafico 3.22 – Istogramma della dispersione della componente ΔU per i due software

In Tab 3.16 sono mostrati i principali parametri statistici relativi alla dispersione delle serie temporali dei due *software*.

Software		Media (mm)	Deviazione Standard (mm)	Massimo (mm)
gamit	$\sigma\Delta N$	0,1	0,0	0,2
	$\sigma\Delta E$	0,1	0,0	0,2
	$\sigma\Delta U$	0,2	0,1	0,6
gipsy	$\sigma\Delta N$	0,1	0,0	0,3
	$\sigma\Delta E$	0,2	0,1	0,5
	$\sigma\Delta U$	0,3	0,1	0,8

Tabella 3.16 – I principali parametri statistici relativi alla dispersione delle serie temporali dei due software

L'analisi degli istogrammi e della tabella sopra riportati evidenzia, in generale, una bassa dispersione, a indicare una buona qualità delle monumentazioni delle stazioni che costituiscono la rete SoGER. Rimane confermata una dispersione associata alla quota leggermente maggiore di quella associata alle altre coordinate. Per quanto attiene *Gipsy*, le due coordinate planimetriche hanno dispersioni pressoché coincidenti con la soluzione differenziata.

Per quanto riguarda il confronto vero e proprio fra le posizioni ottenute con i due *software*, si mostra la Tab 3.17, ove sono riportati i principali parametri statistici relativi alle differenze ottenute tramite l'equazione [9] di Cap 2.3.7; segue Fig 3.8 ove sono rappresentate le poc'anzi citate differenze e la loro distribuzione sul territorio.

Il *trend* delineato in precedenza è ancora una volta confermato: qualora si confrontano le soluzioni *Gipsy* con le soluzioni di un *software* differenziato (*Gamit* nel caso in analisi), si assiste a differenze trascurabili in merito alla componente Nord, a maggiori differenze per quanto riguarda la quota e a differenze indubbiamente significative per quanto attiene la coordinata Est; si veda a tal proposito anche il grafico 3.23 ove sono mostrate le differenze normalizzate delle coordinate geodetiche locali (ottenute tramite l'equazione [11] di Cap 2.3.7). Ancora una volta però, l'attenta analisi delle serie temporali e delle relative rette di regressione, mostra che, anche in presenza del citato *bias* in Est tra le soluzioni *Gipsy* e quelle *Gamit*, le rette sono pressoché parallele.

Differenze (mm)		gamit-gipsy
ΔN	Media	-0,2
	St.dev	0,7
	Max.abs	1,4
ΔE	Media	-1,3
	St.dev	2,8
	Max.abs	6,0
ΔU	Media	0,4
	St.dev	2,8
	Max.abs	6,3

Tabella 3.17 – I principali parametri statistici relativi al confronto fra le due soluzioni

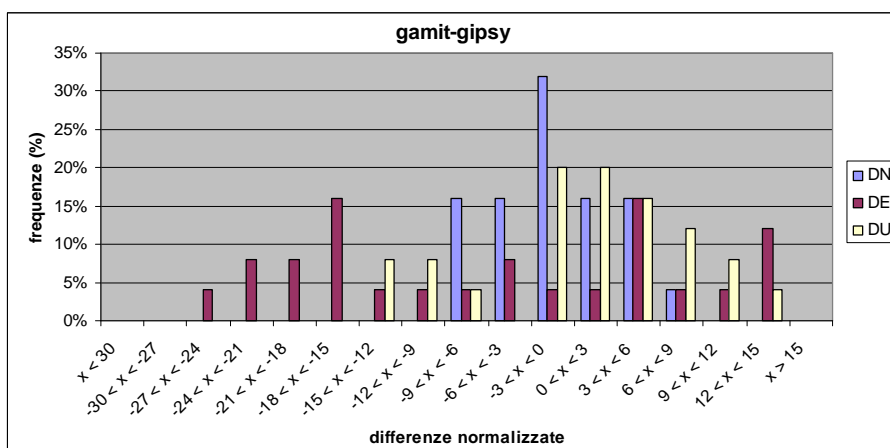


Grafico 3.23 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto Gamit vs Gipsy

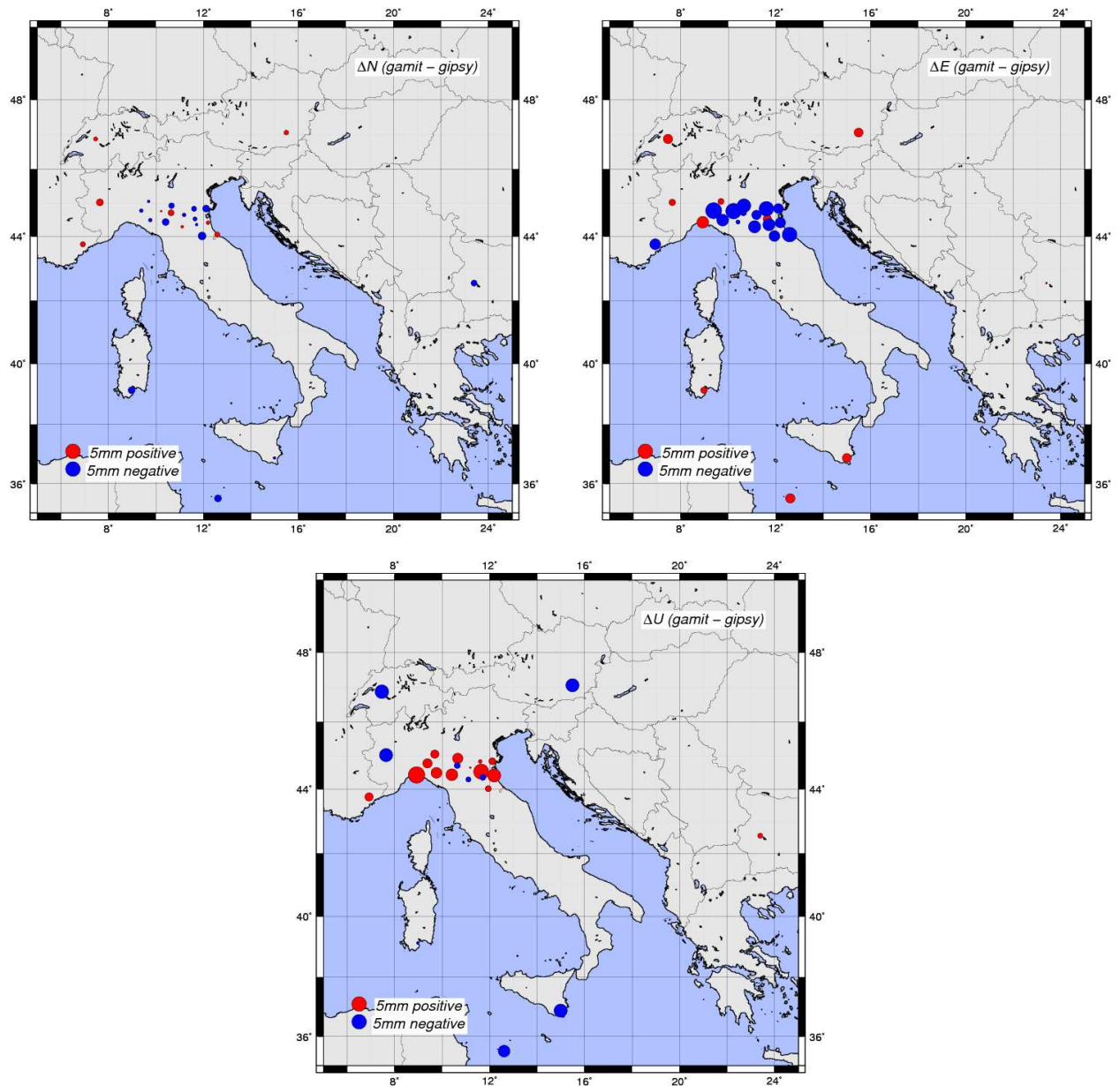


Figura 3.8 – Differenze delle soluzioni Gipsy rispetto alle soluzioni Gamit in coordinate geodetiche locali (ΔN , ΔE e ΔU)

3.4.3.1 Confronto tra le soluzioni utilizzando le calibrazioni assolute mutuate dalle relative NGS

Come già detto, i risultati analizzati nel capitolo precedente, sono stati ottenuti utilizzando le calibrazioni assolute misurate dalla *Geo++ GmbH* (per 12/15 stazioni sono stati utilizzati i certificati “individuali” e per le rimanenti 3 è stata utilizzata la “calibrazione assoluta unica”).

Nel seguito verrà illustrato il confronto fra i risultati ottenuti dai medesimi software, nelle stesse condizioni operative, sui medesimi dati, ma utilizzando la calibrazione assoluta mutuata dalla calibrazione relativa *NGS*; quanto detto limitatamente alle 15 stazioni *SoGER*, nel senso che, per le 13 stazioni di inquadramento, in entrambi i confronti, sono state utilizzate le calibrazioni assolute “vere” fornite all’*IGS* dalla *Geo++*.

		rinex scartati		rigettati		clear	
		numero	%	numero	%	numero	%
gamit		19	0,12	947	5,74	15543	94,15
gipsy		52	0,31	989	5,99	15468	93,69

Tabella 3.18 – Tabella statistica relativa alla rete SoGER (utilizzando le calibrazioni assolute mutuare dalle calibrazioni relative NGS)

dove:

- rinex scartati = Rinex NON processati dai singoli software
- rigettati = Rinex rigettati a 3σ dalla procedura "4PG"
- clear = Soluzioni buone
- le percentuali sono espresse rispetto ai 16509 file post filtraggio

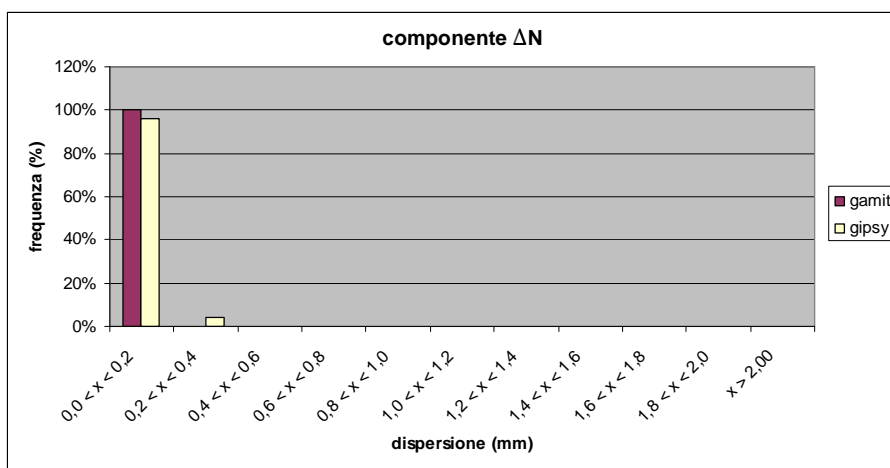


Grafico 3.24 – Istogramma della dispersione della componente ΔN per i due software (utilizzando le calibrazioni assolute mutuare dalle calibrazioni relative NGS)

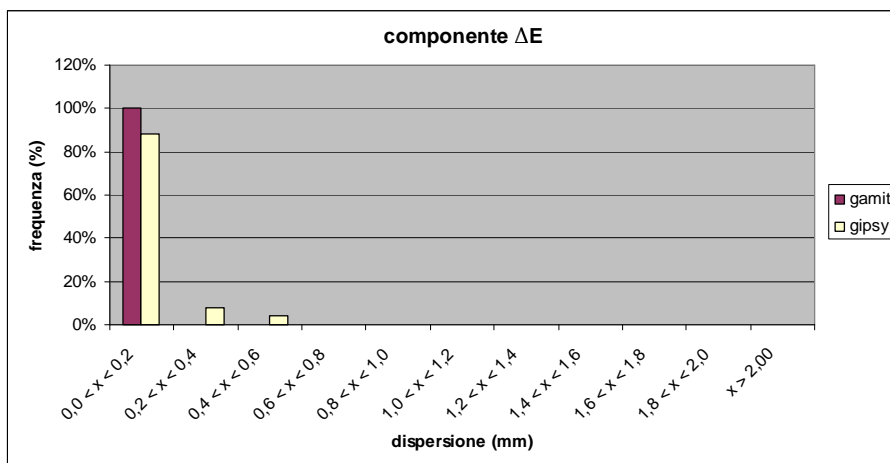


Grafico 3.25 – Istogramma della dispersione della componente ΔE per i due software (utilizzando le calibrazioni assolute mutuare dalle calibrazioni relative NGS)

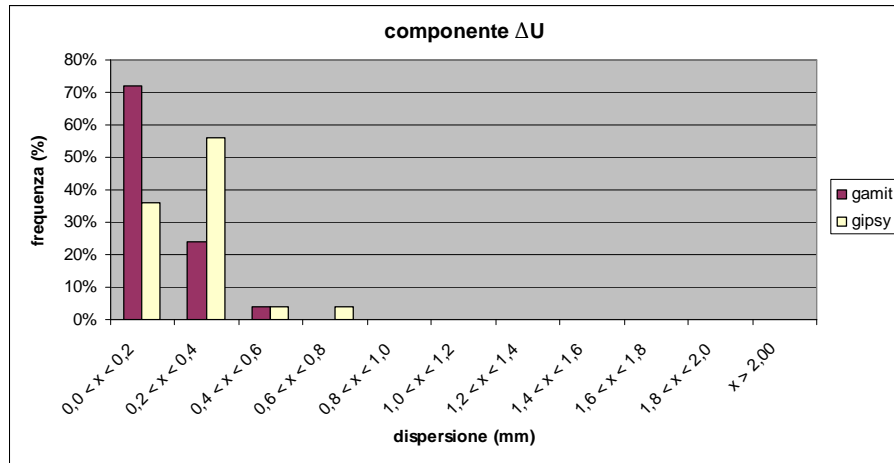


Grafico 3.26 – Istogramma della dispersione della componente ΔU per i due software (utilizzando le calibrazioni assolute mutuate dalle calibrazioni relative NGS)

L'analisi statistica dei risultati (si veda Tab 3.18) e l'indeterminazione reale (si vedano i grafici 3.24-3.26 e la Tab 3.19) non presentano differenze degne di nota rispetto al precedente confronto.

Software		Media (mm)	Deviazione Standard (mm)	Massimo (mm)
Gamit	$\sigma\Delta N$	0,1	0,0	0,2
	$\sigma\Delta E$	0,1	0,0	0,2
	$\sigma\Delta U$	0,2	0,1	0,6
Gipsy	$\sigma\Delta N$	0,1	0,0	0,3
	$\sigma\Delta E$	0,2	0,1	0,5
	$\sigma\Delta U$	0,3	0,1	0,8

Tabella 3.19 – I principali parametri statistici relativi alla dispersione delle serie temporali dei due software (utilizzando le calibrazioni assolute mutuate dalle calibrazioni relative NGS)

In merito al confronto fra le posizioni ottenute dai due *software*, si mostrano: la Tab 3.20 ove sono riportati i principali parametri statistici relativi al campione di differenze e Fig 3.9 ove sono mostrate, ancora una volta, dette differenze e la loro distribuzione sul territorio.

Se si confrontano Tab 3.20 e Fig 3.9 con le omologhe Tab 3.17 e Fig 3.8 risulta evidente che, abbandonando le calibrazioni assolute “vere” in favore delle calibrazioni assolute mutuate dalle relative *NGS*, le differenze fra *Gamit* e *Gipsy* per quanto riguarda la coordinata Nord e la quota non cambiano in modo sostanziale, mentre, per quanto attiene la coordinata Est, si assiste a una apprezzabile riduzione del *bias*.

Il confronto fra gli istogrammi delle differenze normalizzate (si vedano i grafici 3.27 e 3.23) sembra confermare quanto poc'anzi detto: la coda relativa alla coordinata Est tende a scomparire, le relative differenze normalizzate tendono a raccogliersi attorno allo zero e la loro distribuzione diviene maggiormente simmetrica.

Differenze (mm)		gamit-gipsy
ΔN	Media	0,1
	St.dev	0,7
	Max.abs	1,3
ΔE	Media	0,3
	St.dev	1,7
	Max.abs	3,7
ΔU	Media	0,9
	St.dev	2,5
	Max.abs	6,5

Tabella 3.20 – I principali parametri statistici relativi al confronto fra le due soluzioni (utilizzando le calibrazioni assolute mutate dalle calibrazioni relative NGS)

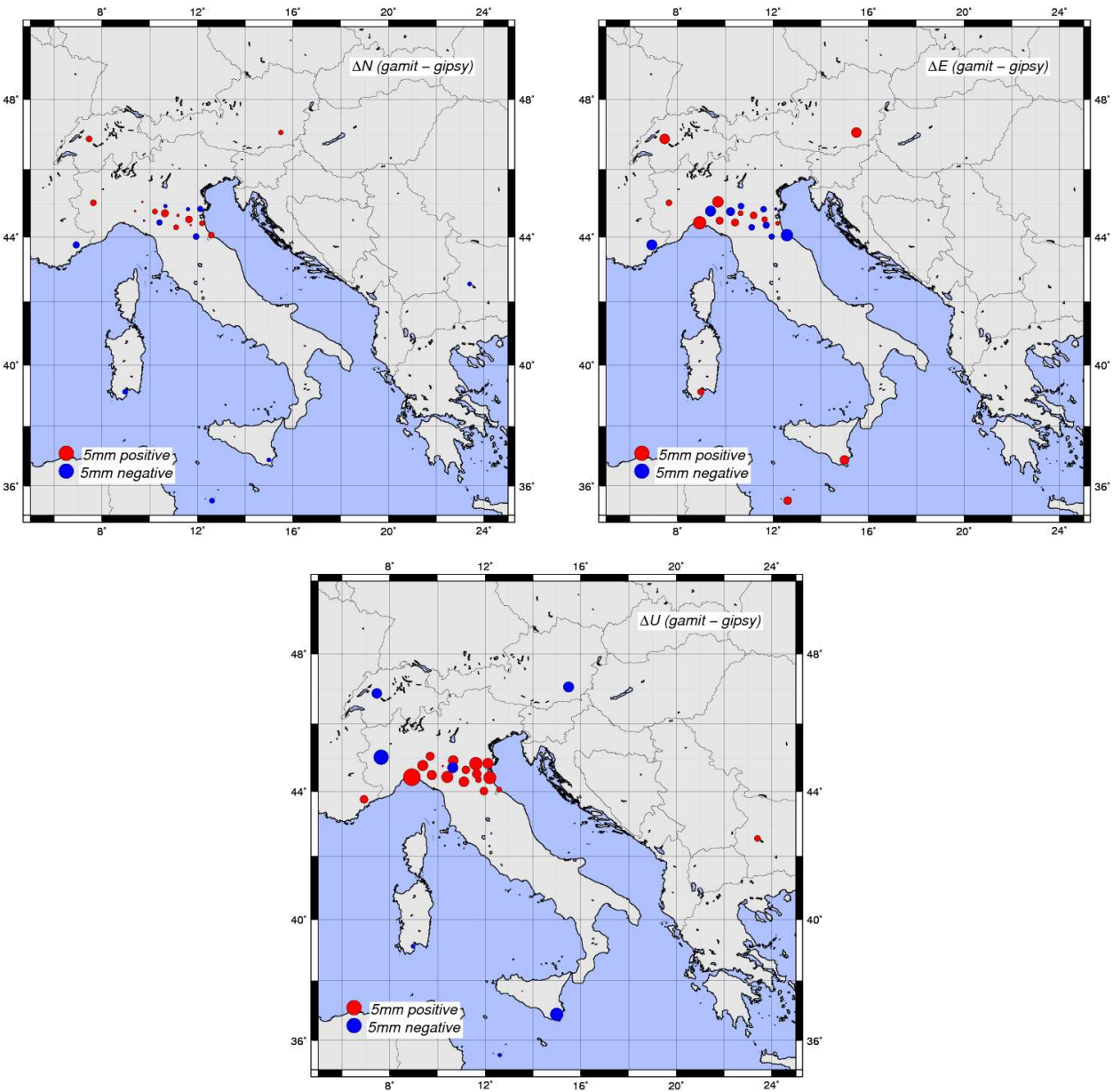


Figura 3.9 – Differenze delle soluzioni Gipsy rispetto alle soluzioni Gamit in coordinate geodetiche locali (ΔN , ΔE e ΔU ; utilizzando le calibrazioni assolute mutate dalle calibrazioni relative NGS)

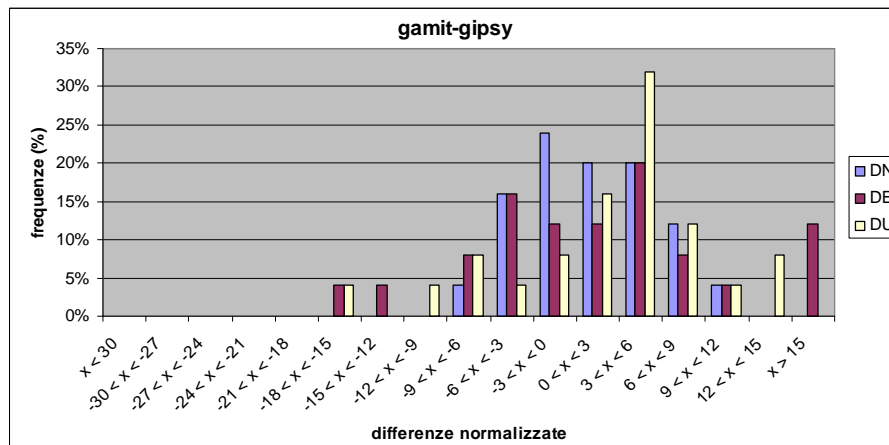


Grafico 3.27 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto Gamit vs Gipsy (utilizzando le calibrazioni assolute mutate dalle calibrazioni relative NGS)

Premesso che, come più volte detto, questo argomento merita senza dubbio ulteriori approfondimenti, sembra che, la motivazione del *bias* in Est fra *Gipsy* e i *software* differenziati, vada ricercata nelle calibrazioni assolute “vere” (con correzioni azimutali oltreché in elevazione) o meglio nell’uso che i diversi *software* fanno di dette calibrazioni (si ricorda che, il file delle calibrazioni delle antenne utilizzato in *input* dai diversi codici, è stato, di volta in volta, lo stesso).

3.4.4 Conclusioni

E’ così possibile concludere che:

- le soluzioni *Gipsy*, in questo caso, mostrano una dispersione maggiore rispetto alle soluzioni *Gamit*, esclusivamente sulla quota; in generale le soluzioni sono contraddistinte da una dispersione assai ridotta, a indicare un’ottima qualità delle stazioni permanenti che costituiscono la rete *SoGER*;
- fra i due software in analisi (*Gamit* e *Gipsy*) sussistono delle apprezzabili differenze in quota e sulla coordinata Est, dette differenze però sono contenute in pochi millimetri e le rette che descrivono i *trend* delle soluzioni dei due *software* sono comunque praticamente parallele;
- se si utilizzano le calibrazioni assolute mutate dalle relative *NGS*, il *bias* in Est tra i due *software* si riduce sensibilmente di conseguenza sembra che, la motivazione del *bias*, vada ricercata nelle calibrazioni assolute “vere” o meglio nel loro utilizzo.

3.5 Considerazioni conclusive e tempi di calcolo

I risultati ottenuti dal calcolo delle reti analizzate in questi anni consentono di stilare delle considerazioni conclusive relative ai 3 codici utilizzati:

- le soluzioni *Gipsy* risultano, quasi sempre, leggermente più disperse rispetto a quelle degli altri *software*;

- le soluzioni ottenute dal *Bernese* e da *Gamit* (i due *software* differenziati) sono sempre in perfetto accordo;
- il terzo *software* (*Gipsy*) che utilizza il metodo indifferenziato, mostra talvolta delle apprezzabili differenze numeriche rispetto alle altre soluzioni (*Bernese* e *Gamit*) soprattutto per quanto attiene la coordinata Est, questo fenomeno è noto in letteratura (e.g. Jivall et al., 2005) ma non se ne conoscono le motivazioni; le differenze sono però contenute in pochi millimetri e le rette che descrivono i *trend* sono comunque praticamente parallele a quelle degli altri due *software*;
- il citato *bias* in Est tra *Gipsy* e le soluzioni differenziate, è più evidente in presenza di determinate combinazioni Antenna/Radome e sembra essere legato all'uso delle calibrazioni assolute da parte dei diversi *software*.

Al quadro sin qui descritto è opportuno aggiungere qualche cosa in merito ai tempi di calcolo (*TTP Time to Process*) mostrando il confronto relativo al calcolo della rete *ItalPos* che è stato il più impegnativo (si veda Tab 3.21).

In realtà, non è possibile effettuare un confronto rigoroso relativo al *TTP* dei 3 *software*, in quanto essi sono stati eseguiti su *computer* con caratteristiche diverse e utilizzando sistemi operativi differenti (in Tab 3.21 sono però riportate le caratteristiche principali dei computer utilizzati).

Si tenga inoltre presente che, per i codici *Gamit* e *Gipsy*, è stato possibile ottimizzare l'utilizzo delle risorse eseguendo contemporaneamente 4 processi (*thread*) in parallelo, portando l'utilizzo delle 4 *CPU* dal 25% a quasi il 100%.

Software	Bernese	Gamit	Gipsy
CPU	Intel core 2 quad 2.66 GHz	Bi-processore Intel Xeon duo 2.33 GHz	Intel Core2 Quad Extreme 3.0 GHz
Ram (GB)	3.2	4	8
Ambiente	Windows 32 bit	Linux 64 bit	Linux 64 bit
N° processi	1	4	4
Partizionamento	Unico blocco	5 cluster	Singola stazione
TTP (giorni)	14	6	2

Tabella 3.21 – Time to Process e prestazioni dei computer utilizzati

Si consideri infine che, per il codice *Gamit*, nel caso in analisi, la rete è stata suddivisa in 5 *cluster* di una quarantina di stazioni ognuno (che è il partizionamento consigliato dagli sviluppatori di *Gamit* al fine di ottimizzare il *TTP*). A tal proposito si è verificato che, in *RDN*, con un singolo *thread*, passando da due cluster di circa 55 stazioni ognuno (42+13 e 43+13) a un singolo *cluster* di 98 stazioni (85+13), il *TTP* triplica (da circa 3gg a circa 9gg).

Con le limitazioni sopra descritte, risulta comunque evidente che *Gipsy* è sensibilmente più veloce dei codici differenziati; bisogna inoltre considerare che, con la procedura indifferenziata, il file di ciascuna stazione di ciascun giorno, viene elaborato indipendentemente dagli altri, con

evidente maggior elasticità di gestione: se si individua un errore strumentale su di una singola stazione o se si decide di aggiungere o togliere una stazione dalla rete, non risulta necessario il ricalcolo dell'intera rete.

4 Alcuni approfondimenti

4.1 Inquadramento della rete SoGER in ITRF05 tramite RDN

Come detto in precedenza (si veda Cap 3.3), all'inizio del 2009, l'IGMI ha ufficializzato la *RDN* che è la materializzazione del nuovo Sistema di Riferimento Geodetico Nazionale.

Si ricorda che, l'inquadramento della *RDN*, è stato effettuato sui 13 vertici *IGS/EUREF* di cui si è parlato nel Cap 2.2.4; detti vertici coincidono con quelli utilizzati per l'inquadramento in *ITRF* della rete *SoGER* descritto nel Cap 3.4.

Disponendo di una Rete Nazionale di Stazioni Permanenti, la si può utilizzare per effettuare l'inquadramento di reti di raffittimento locale.

Siccome il *dataset* della rete *SoGER* copre, per parecchie stazioni (12/15), il periodo di tempo utilizzato per la definizione della Rete Dinamica Nazionale (357/2007 – 019/2008), è stato possibile procedere all'inquadramento in *ITRF* della rete *SoGER* tramite un sottoinsieme della rete *RDN*; a tal fine sono state scelte le stazioni interne alla regione ed alcune nelle immediate vicinanze, per un totale di 11 punti.

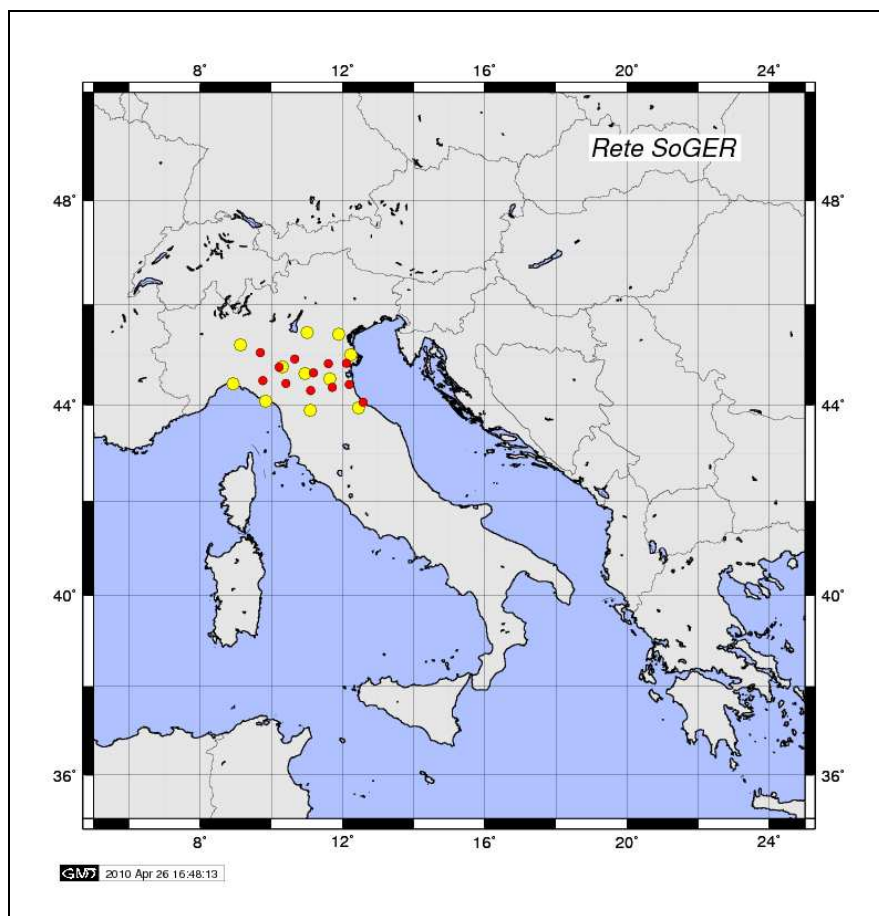


Figura 4.1 – Rete SoGER (rosso) e stazioni RDN utilizzate per l'inquadramento (giallo)

In Fig 4.1 è riportata l'ubicazione delle 11 stazioni *RDN* scelte e delle 12/15 stazioni *SoGER* utilizzabili (le tre stazioni *SoGER* mancanti tra la fine del 2007 e l'inizio del 2008 sono BOBB, CIVI e REGG).

Naturalmente, nel seguito, verranno confrontati i risultati ottenuti inquadrando la rete *SoGER* in *ITRF* utilizzando le 13 stazioni *IGS/EUREF* (si veda Cap 3.4), con i risultati ottenuti inquadrando la rete *SoGER* in *ITRF* utilizzando le 11 stazioni *RDN*; del primo calcolo sono stati considerati esclusivamente i 28 giorni utilizzabili per il secondo.

In Tab 4.1 sono riportate le stazioni che costituiscono i due *dataset* con i relativi numeri di *rinex*.

Rete SoGER/IGS				Rete SoGER/RDN			
IGS			12/15 SoGER	RDN			12/15 SoGER
cagl	28	cast	20	geno	28	cast	20
geno	28	codi	20	lasp	28	codi	20
gras	28	coll	24	medi	28	coll	24
graz	28	ferr	24	mops	28	ferr	24
ieng	28	guas	21	pado	13	guas	21
lamp	28	itim	22	parm	28	itim	22
mate	27	itrn	15	pavi	28	itrn	15
medi	28	pers	22	prat	27	pers	22
notl	23	piac	18	rsmn	28	piac	18
pado	13	rave	12	tgpo	17	rave	12
sofi	28	taro	17	vero	22	taro	17
wtzr	28	verg	22	TOT	275	verg	22
zimm	28	TOT	237			TOT	237
TOT	343						

Tabella 4.1 – Stazioni della rete SoGER/IGS (a sinistra) e della rete SoGER/RDN (a destra) con relativo numero di rinex

I file giornalieri sono stati estratti dagli archivi elaborati in precedenza (rete *SoGER* e *RDN*), di conseguenza non è stato necessario procedere al loro filtraggio finalizzato all'eliminazione di *rinex* che non soddisfano determinati standard qualitativi; anzi, al fine di eliminare tutti e soli i file con meno di 6 ore di dati, è stato necessario ripristinare parte dei *rinex RDN* scartati a suo tempo, in quanto, allora, si usò come limite le 12 ore di dati.

Il nuovo processamento, ad eccezione della scelta delle stazioni di inquadramento, è stato effettuato applicando tutte le procedure illustrate nel Cap 2, però, in luogo dei tre *software*, ne è stato utilizzato uno soltanto (*Gamit*).

Le coordinate dei punti *RDN* nel *frame ITRF05 (IGMIc, WP)* e le relative indeterminazioni (*IGMIe, WP*) sono state prese dal sito ufficiale dell'*IGMI*. A causa dell'assenza del dato, la velocità delle stazioni di riferimento, è assunta nulla; ciò, nel caso in analisi, non è un problema, in quanto il periodo di tempo considerato è assai breve e sovrapposto all'epoca alla quale sono definite le coordinate delle stazioni *RDN* (2008.0).

Così come si fece per *RDN*, come valori rappresentativi della posizione di ogni singola stazione, sono stati utilizzati i valori interpolati (tramite l'equazione [5] di Cap 2.3.6) utilizzando, come epoca di riferimento t_0 , 2008.0 *decimal year*. Però, l'attenta analisi delle serie temporali

costituite da 28 giorni, ha evidenziato che, per una stazione (RAVE), contraddistinta da pochi *rinex* relativamente lontani dall'epoca di riferimento, è più opportuno utilizzare il valore mediato (tramite l'equazione [7] di Cap 2.3.6) piuttosto che quello propagato (si veda il grafico 4.1 ove la spaziatura lungo l'asse delle ordinate è 0.5 mm per le componenti ΔN e ΔE e 2 mm per la componente ΔU , mentre lungo l'asse delle ascisse è di 0.02 *decimal year*; con “*gaIGS*” si intende soluzione *Gamit* ottenuta utilizzando le stazioni di inquadramento *IGS* e con “*gaRDN*” si intende soluzione *Gamit* ottenuta utilizzando le stazioni di inquadramento *RDN*). Al fine di utilizzare per RAVE la media piuttosto che il valore interpolato, sono state utilizzate le apposite procedure che realizzano quelli che in passato (si veda Cap 3.2.2) sono stati chiamati valori “*mixati*”, che verranno utilizzati in tutte le valutazioni riportate in seguito.

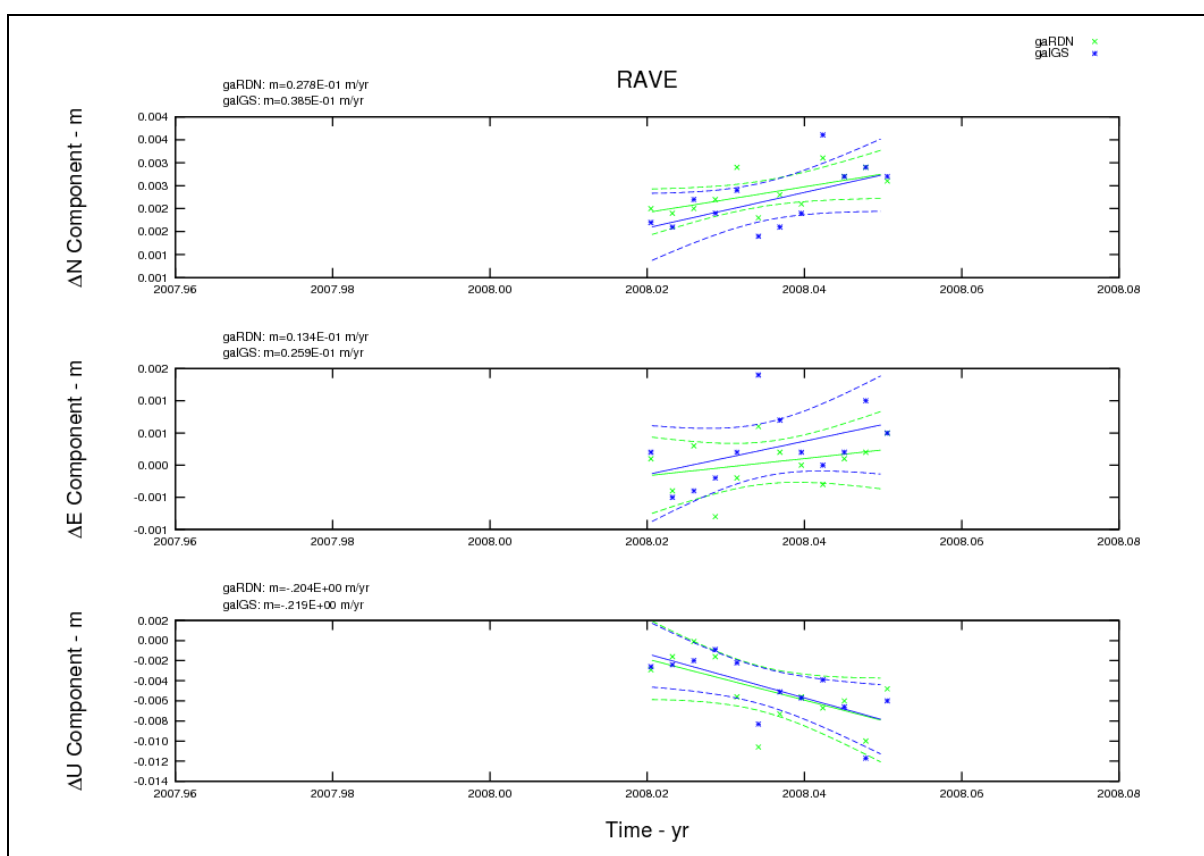


Grafico 4.1 – Serie temporali (gaIGS e gaRDN) della stazione RAVE con rette di regressione e relative curve di indeterminazione a 3σ

L'analisi statistica dei risultati (si veda Tab 4.2), in questo caso, assume un significato particolare, in quanto, in realtà, si stanno analizzando due *dataset* differenti con una parziale sovrapposizione (i *rinex* della rete *SoGER*). Per quanto attiene ai *rinex* comuni, i due processamenti portano agli stessi risultati, per quanto riguarda i file delle stazioni di inquadramento, ora *IGS*, ora *RDN*, l'unico aspetto rilevabile è che, il numero di *rinex* scartati da *Gamit* e quelli rigettati dalla “*4PG*” sono complessivamente di poche unità percentuali.

Rete SoGER/IGS	rinex scartati		rigettati		clear	
	numero	%	numero	%	numero	%
IGS	1	0,29	20	5,83	322	93,88
SOGER	0	0,00	2	0,84	235	99,16
TOT	1	0,17	22	3,79	557	96,03

Rete SoGER/RDN	rinex scartati		rigettati		clear	
	numero	%	numero	%	numero	%
RDN	4	1,45	7	2,55	264	96,00
SOGER	0	0,00	2	0,84	235	99,16
TOT	4	0,78	9	1,76	499	97,46

Tabella 4.2 – Tabelle statistiche relative alla rete SoGER/IGS (sopra) e alla rete SoGER/RDN (sotto)

dove:

- rinex scartati = Rinex NON processati da Gamit
- rigettati = Rinex rigettati a 3σ dalla procedura "4PG"
- clear = Soluzioni buone
- le percentuali sono espresse rispetto ai relativi totali riportati in Tab 4.1

Si sottolinea che, nelle valutazioni che seguono, verranno considerate le sole stazioni *SoGER*, se non altro perché esse sono giocoforza le stazioni comuni ai due *dataset*; a onor del vero 3 stazioni di inquadramento (GENO, MEDI e PADO) sono al tempo stesso *IGS* ed *RDN* ma, premesso che il considerarle o meno non sposta i risultati, si è ritenuto più corretto il non considerarle.

In merito all'indeterminazione reale da associare alle tre componenti di ogni sito per ogni soluzione (ottenibile dalla equazione [6] di Cap 2.3.6; dalla [8] per RAVE) si mostrano gli istogrammi 4.2-4.4 e la Tab 4.3.

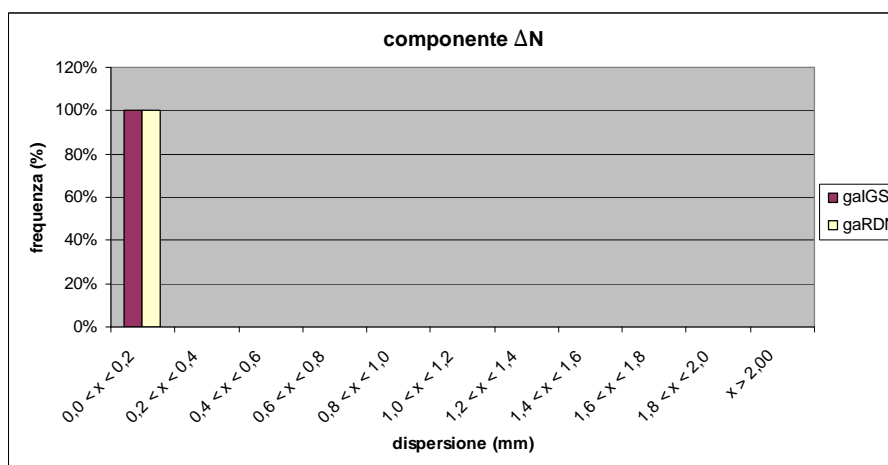
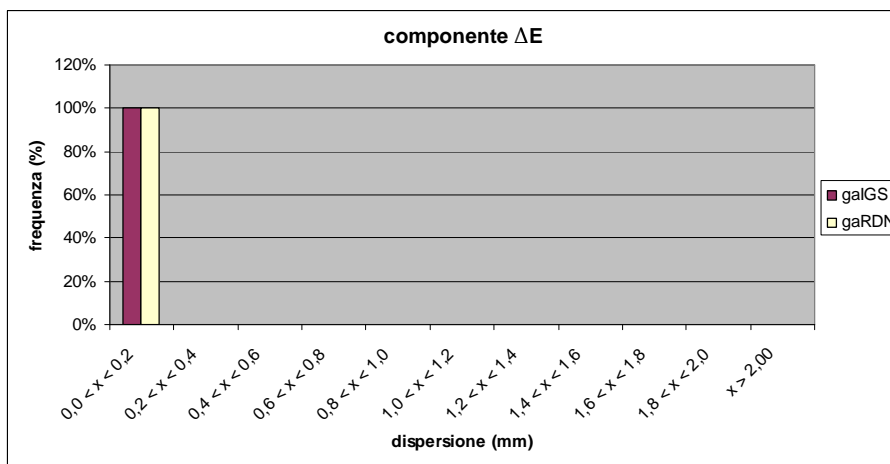
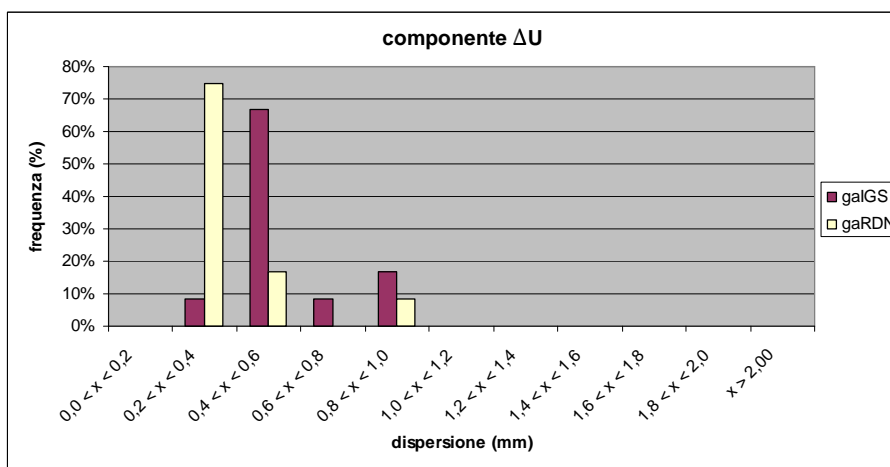


Grafico 4.2 – Istogramma della dispersione della componente ΔN per le due soluzioni

Grafico 4.3 – Istogramma della dispersione della componente ΔE per le due soluzioniGrafico 4.4 – Istogramma della dispersione della componente ΔU per le due soluzioni

Software		Media (mm)	Deviazione Standard (mm)	Massimo (mm)
galGS	$\sigma\Delta N$	0,1	0,0	0,2
	$\sigma\Delta E$	0,1	0,0	0,2
	$\sigma\Delta U$	0,6	0,2	0,9
gaRDN	$\sigma\Delta N$	0,1	0,0	0,1
	$\sigma\Delta E$	0,1	0,0	0,2
	$\sigma\Delta U$	0,4	0,2	0,9

Tabella 4.3 – I principali parametri statistici relativi alla dispersione delle serie temporali delle due soluzioni

L'analisi degli istogrammi e della tabella sopra riportati mostra una dispersione quasi coincidente fra le due soluzioni e in generale una dispersione molto bassa; del resto, in questo caso, si stanno confrontando due soluzioni a parità di software e, almeno in parte, a parità di dati. Così come era lecito aspettarsi, l'uso di diverse stazioni di inquadramento, nonostante esse vengano coinvolte anche nella fase di calcolo vero e proprio, non è in grado di cambiare in modo sostanziale la dispersione delle soluzioni delle stazioni della rete oggetto di calcolo.

Passando al confronto vero e proprio fra le due soluzioni ottenute con i due diversi inquadramenti, si mostra la Tab 4.4 ove sono riportati i principali parametri statistici relativi alle differenze ottenute tramite l'equazione [9] di Cap 2.3.7.

Differenze (mm)		galGS-gaRDN
ΔN	Media	-0,4
	St.dev	0,1
	Max.abs	0,5
ΔE	Media	0,2
	St.dev	0,1
	Max.abs	0,3
ΔU	Media	0,4
	St.dev	0,2
	Max.abs	0,6

Tabella 4.4 – I principali parametri statistici relativi al confronto fra le due soluzioni

Dette differenze risultano essere sub millimetriche sulle tre coordinate, sia come media, che come deviazione standard e addirittura come massima differenza in valore assoluto. Detto in altri termini, come si evince anche dall'analisi di Fig 4.2 (ove le stazioni *SoGER* sono rappresentate con circoletti di area proporzionale alla differenza delle due soluzioni in analisi), i risultati dei due processamenti possono essere considerati coincidenti.

In questo caso non si mostrerà l'istogramma delle differenze normalizzate in quanto esso tende a perdere di significato qualora tutte le differenze risultano essere sub millimetriche.

Il risultato, dal punto di vista qualitativo, non sorprende, in quanto, le soluzioni ottenute dall'inquadramento sul *frame* costituito dalle stazioni *IGS/EUREF*, sono state confrontate con quelle ottenute dall'inquadramento su praticamente altrettante stazioni della Rete Dinamica Nazionale, che, a sua volta, non è altro che un raffittimento delle stesse stazioni *IGS*.

Possiamo quindi concludere che, inquadrare una rete regionale in *ITRF05*, tramite un opportuno sottoinsieme delle stazioni *RDN*, utilizzando le coordinate e gli errori ufficializzati tramite il sito *IGMI*, porta a risultati praticamente coincidenti con quelli che si ottengono inquadrando tramite un congruo numero di stazioni *IGS/EUREF*. Naturalmente è necessario considerare che, affinché ciò sia possibile per una rete "qualsiasi", è indispensabile che l'*IGMI* renda disponibili i *rinex* coevi alla rete in analisi e le velocità *ITRF05* delle stazioni *RDN*.

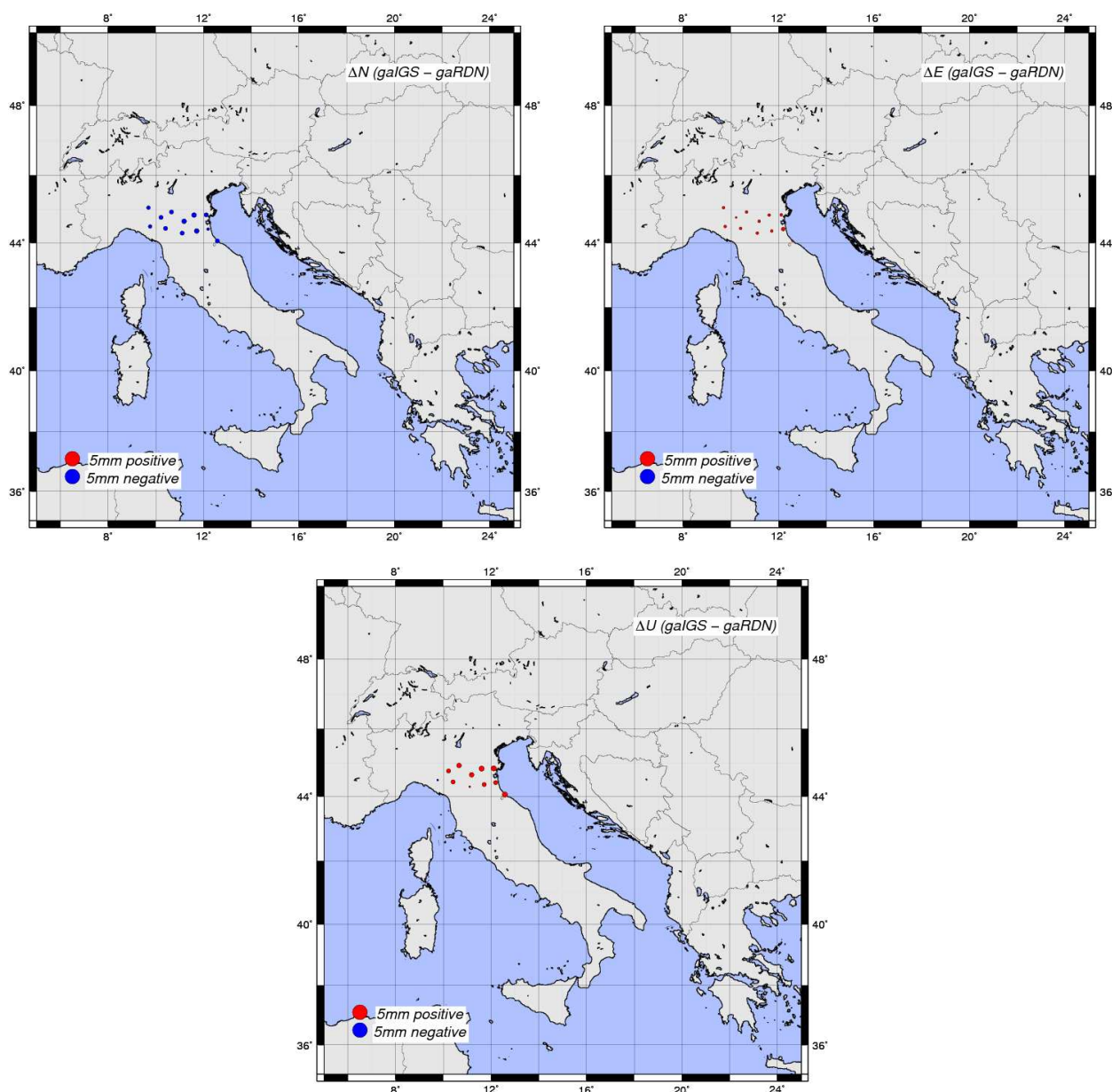


Figura 4.2 – Differenze fra la soluzione inquadrata in IGS e quella inquadrata in RDN in coordinate geodetiche locali (ΔN , ΔE e ΔU)

4.2 Confronti fra soluzioni ottenute utilizzando diverse calibrazioni delle antenne

In precedenza (si veda Cap 3.4.2) si è sottolineato che, i gestori della rete *SoGER*, hanno reso disponibile la calibrazione assoluta della combinazione Antenna/Radome presente nei 15 siti di detta rete e i certificati “individuali” di 12 dei 15 esemplari. Complessivamente, per le *Topcon CR-3* con *Radome Cone* (sigla standard IGS: TPSCR3_GGD CONE), installate nelle 15 stazioni *SoGER*, sono disponibili:

- la calibrazione relativa fornita dal *National (U.S.A.) Geodetic Survey*;
- la calibrazione assoluta mutuata dalla relativa *NGS*;

- la calibrazione assoluta con correzioni sia in elevazione che azimutali, misurata dalla *Geo++ GmbH*, valida per tutti gli esemplari di antenna modello: TPSCR3_GGD CONE (indicata in precedenza con la dizione “calibrazione assoluta unica”);
- i certificati di calibrazione assoluta “individuali”, effettuati tarando i singoli esemplari di 12 delle 15 stazioni, calcolati sempre dalla *Geo++ GmbH*.

Al fine di valutare l’effetto sui risultati dell’utilizzo dei diversi tipi di calibrazione, si è deciso di confrontare fra loro le seguenti soluzioni:

- *gangs*: soluzione *Gamit* ottenuta utilizzando la calibrazione assoluta mutuata dalla relativa *NGS*;
- *gageo*: soluzione *Gamit* ottenuta utilizzando la “calibrazione assoluta unica”;
- *gatop*: soluzione *Gamit* ottenuta utilizzando i certificati “individuali”.

Come *dataset* su cui effettuare il confronto, è stato utilizzato quello descritto in Tab 4.1 e denominato *SoGER/IGS* (costituito da 580 *rinex* che sono già stati oggetto di filtraggio, furono eliminati i *file* con meno di 6 ore di dati). Si è scelto un campione di 28 giorni, piuttosto che l’intero *dataset SoGER* (775gg), al fine di ridurre drasticamente i tempi di calcolo.

Anche questo processamento, scelta del file di calibrazione delle antenne esclusa, è stato effettuato applicando tutte le procedure illustrate nel Cap 2, ma, come nel caso precedente, in luogo dei tre *software*, è stato utilizzato unicamente *Gamit*.

Per ottenere la soluzione *gangs* è stato utilizzato il file di calibrazione ufficiale *IGS* che, come detto in precedenza, contiene, per la *Topcon CR-3* con *Radome Cone*, la calibrazione assoluta mutuata dalla relativa *NGS*; per ottenere la soluzione *gageo*, la calibrazione assoluta mutuata dalla relativa *NGS*, è stata sostituita manualmente con la “calibrazione assoluta unica”; infine, per la soluzione *gatop*, sono stati aggiunti i 12 certificati “individuali” attribuendo loro dei nomi di fantasia e impostando *Gamit* in modo opportuno.

	rinex scartati		rigettati		clear	
	numero	%	numero	%	numero	%
Gangs	1	0,17	25	4,31	554	95,52
Gageo	1	0,17	21	3,62	558	96,21
Gatop	1	0,17	22	3,79	557	96,03

Tabella 4.5 – Tabella statistica relativa alla rete SoGER (doy 357/2007 – 019/2008)

dove:

- *rinex scartati* = Rinex NON processati da *Gamit*
- *rigettati* = Rinex rigettati a 3σ dalla procedura “4PG”
- *clear* = Soluzioni buone
- le percentuali sono espresse rispetto ai 580 file post filtraggio

Anche in questo caso, come nel precedente (si veda Cap 4.1), in qualità di valori rappresentativi della posizione di ogni singolo sito, per 11 delle 12 stazioni presenti nell’intervallo temporale considerato, sono stati utilizzati i valori interpolati all’epoca 2008.0 *decimal year*; per la dodicesima stazione (RAVE), è risultato opportuno utilizzare il valore mediato piuttosto che quello propagato.

L'analisi statistica dei risultati (si veda Tab 4.5) non desta sorprese e, ancora una volta, i *rinex* scartati dal codice (*Gamit*) e quelli rigettati a 3σ dalla "4PG", risultano essere complessivamente pari a poche unità percentuali.

Si sottolinea che, nelle valutazioni seguenti, verranno considerati i soli siti *SoGER* in quanto, nessuna delle stazioni di inquadramento, monta la combinazione Antenna/Radome oggetto di questo confronto. Quindi, in generale, verranno confrontati i risultati (indeterminazioni reali e posizioni) relativi a 12 stazioni, si ricorda che 3 delle 15 stazioni *SoGER* (BOBB, CIVI e REGG) non sono presenti nell'intervallo temporale considerato. Inoltre, nei confronti con la soluzione ottenuta utilizzando i certificati "individuali" (*gatop*), sono state escluse anche le stazioni che non possiedono detti certificati (CIVI, ITRN e PIAC). In realtà, nei confronti con *gatop*, si passa dalle 12 alle 10 stazioni, perché CIVI è al tempo stesso esclusa poiché non presente nell'intervallo temporale considerato e in quanto non dotata della calibrazione "individuale".

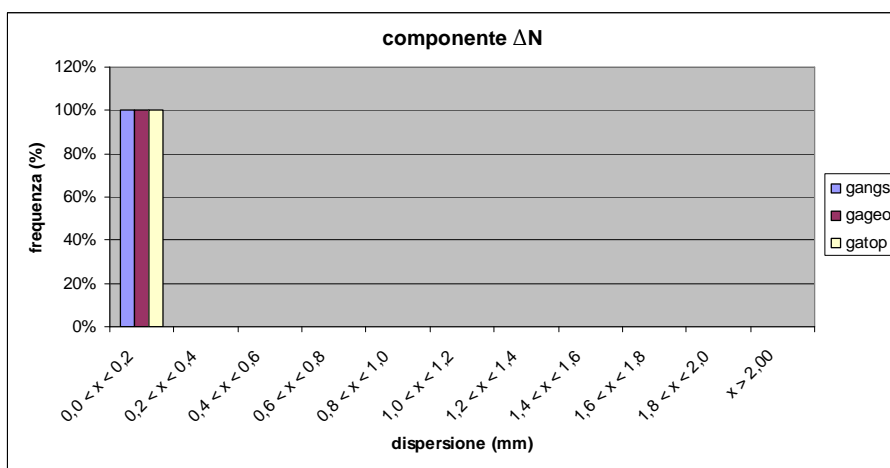


Grafico 4.5 – Istogramma della dispersione della componente ΔN per le tre soluzioni

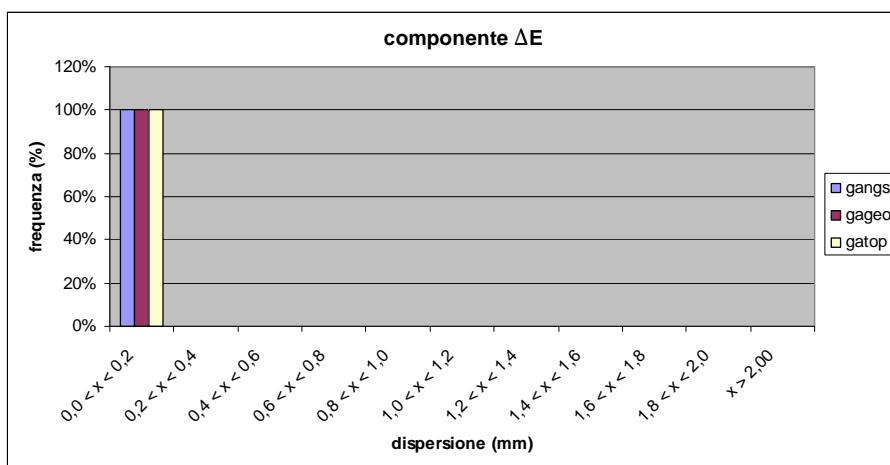


Grafico 4.6 – Istogramma della dispersione della componente ΔE per le tre soluzioni

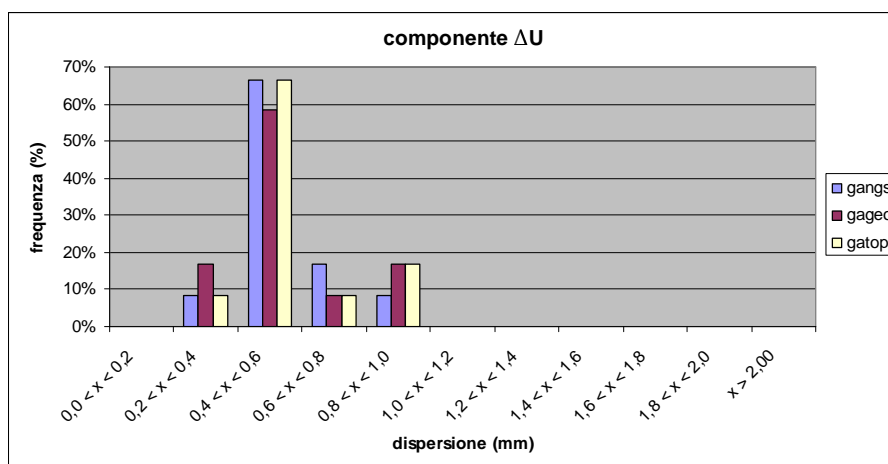


Grafico 4.7 – Istogramma della dispersione della componente ΔU per le tre soluzioni

Per quanto riguarda l'indeterminazione reale da associare alle tre componenti di ogni sito per ogni soluzione (ottenuta in 11 casi tramite la [6] e in un caso dalla [8] del Cap 2.3.6), dagli istogrammi 4.5-4.7 e dalla Tab 4.6, si evince che, ancora una volta, la dispersione delle diverse soluzioni è quasi coincidente e assai bassa. L'uso delle diverse calibrazioni delle antenne non cambia la dispersione reale delle soluzioni.

Software		Media (mm)	Deviazione Standard (mm)	Massimo (mm)
gangs	$\sigma\Delta N$	0,1	0,0	0,2
	$\sigma\Delta E$	0,1	0,0	0,2
	$\sigma\Delta U$	0,6	0,1	0,9
gageo	$\sigma\Delta N$	0,1	0,0	0,2
	$\sigma\Delta E$	0,1	0,0	0,2
	$\sigma\Delta U$	0,6	0,2	0,9
gatop	$\sigma\Delta N$	0,1	0,0	0,2
	$\sigma\Delta E$	0,1	0,0	0,2
	$\sigma\Delta U$	0,6	0,2	0,9

Tabella 4.6 – I principali parametri statistici relativi alla dispersione delle serie temporali delle tre soluzioni

Differenze (mm)		gangs-gageo	gangs-gatop	gageo-gatop
ΔN	Media	-1,8	-2,0	-0,1
	St.dev	0,0	0,5	0,4
	Max.abs	1,9	2,9	1,0
ΔE	Media	0,1	0,6	0,6
	St.dev	0,1	0,4	0,4
	Max.abs	0,2	1,4	1,3
ΔU	Media	-2,9	-1,3	1,6
	St.dev	0,2	8,5	8,5
	Max.abs	3,3	10,2	12,6

Tabella 4.7 – I principali parametri statistici relativi al confronto fra le tre soluzioni

In merito al confronto vero e proprio fra le posizioni ottenute con i tre tipi di calibrazione delle antenne, si mostrano: Tab 4.7 ove sono riportati i principali parametri statistici relativi alle differenze (ottenute tramite l'equazione [9] di Cap 2.3.7) e Fig 4.3 ove sono rappresentate le poc'anzi citate differenze e la loro distribuzione sul territorio.

Nel seguito verranno analizzati esclusivamente i due confronti più significativi che sono:

- *gangs-gageo*: cioè il confronto fra la soluzione ottenuta utilizzando la calibrazione assoluta mutuata dalla relativa *NGS* e quella ottenuta adottando la “calibrazione assoluta unica”;
- *gageo-gatop*: cioè il confronto fra la soluzione ottenuta usando la “calibrazione assoluta unica” e quella ottenuta adoperando i certificati “individuali”.

Il terzo confronto (*gangs-gatop*) può essere visto come somma dei due precedenti.

Analizzando il confronto *gangs-gageo* in Tab 4.7 risulta evidente che, le coordinate ΔN e ΔU , sono contraddistinte da una deviazione standard pressoché nulla, inoltre la media è quasi coincidente con la massima differenza in valore assoluto; in Fig 4.3 (in alto e in basso a sinistra) i simboli che rappresentano le differenze hanno colore e dimensioni praticamente coincidenti. Anche se la differenza è di pochi millimetri (circa 2mm in ΔN e circa 3mm in ΔU), essa è palesemente sistematica. L'analisi dell'istogramma delle differenze normalizzate (si veda grafico 4.8) conferma quanto poc'anzi detto: le differenze relative alle coordinate ΔN e ΔU sono significative. La coordinata ΔE mostra differenze sub millimetriche in media, come deviazione standard e come massima differenza in valore assoluto, di conseguenza, per detta coordinata, non c'è differenza fra le due soluzioni (si tenga presente che, avendo esclusivamente valori sub millimetrici, il grafico 4.8, in merito a ΔE , tende a perdere di significato, anche se, in realtà, non nega quanto poc'anzi affermato).

Dall'analisi del confronto *gageo-gatop* in Tab 4.7 e in Fig 4.3 si evince che, le coordinate ΔN e ΔE , presentano quasi esclusivamente differenze sub millimetriche (entrambi i campioni hanno un solo valore che supera il millimetro), di conseguenza, ancora una volta, il grafico 4.9 (ove sono riportate le differenze normalizzate) perde di significato. E' comunque possibile affermare che in ΔN e in ΔE non vi sono differenze apprezzabili fra le due soluzioni. Per quanto attiene la coordinata ΔU , è possibile affermare il contrario, la media relativamente bassa, “nasconde” una differenza apprezzabile palesata dalla deviazione standard e dalla massima differenza in valore assoluto; ciò trova conferma in Fig 4.3 (in basso a destra) e nel grafico delle differenze normalizzate (si veda grafico 4.9).

Possiamo quindi concludere che, l'uso della “calibrazione assoluta unica” in luogo di quella mutuata dalle calibrazioni relative *NGS*, sposta i risultati in Nord e in Up di pochi millimetri ma in modo sistematico. L'utilizzo dei certificati “individuali” (fonte *Geo++*) in luogo della “calibrazione assoluta unica” (sempre realizzata dalla *Geo++*) sembra spostare i risultati in quota talora anche di 1cm. Questo risultato è abbastanza inatteso al punto che si reputa opportuno effettuare ulteriori indagini in proposito.

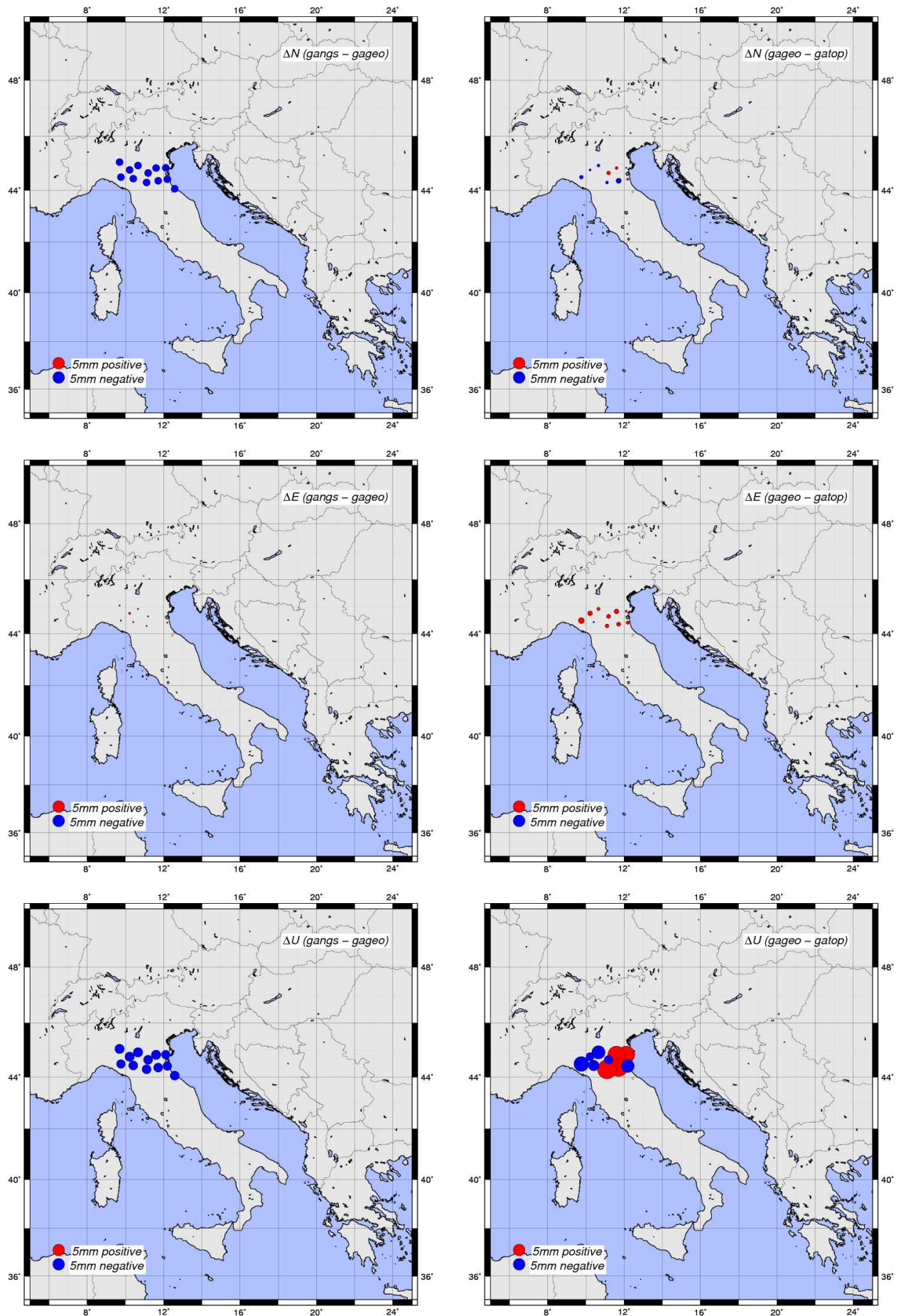


Figura 4.3 – Differenze delle soluzioni gangs e gatop rispetto alla soluzione gageo in coordinate geodetiche locali (ΔN , ΔE e ΔU)

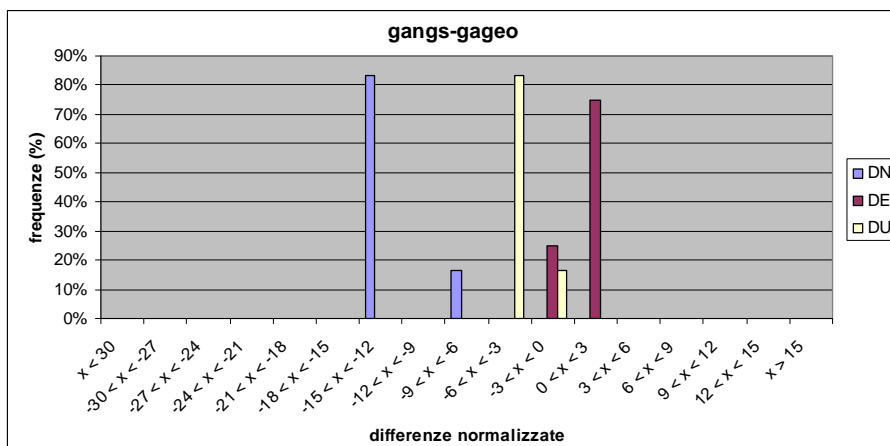


Grafico 4.8 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto gangs vs gageo

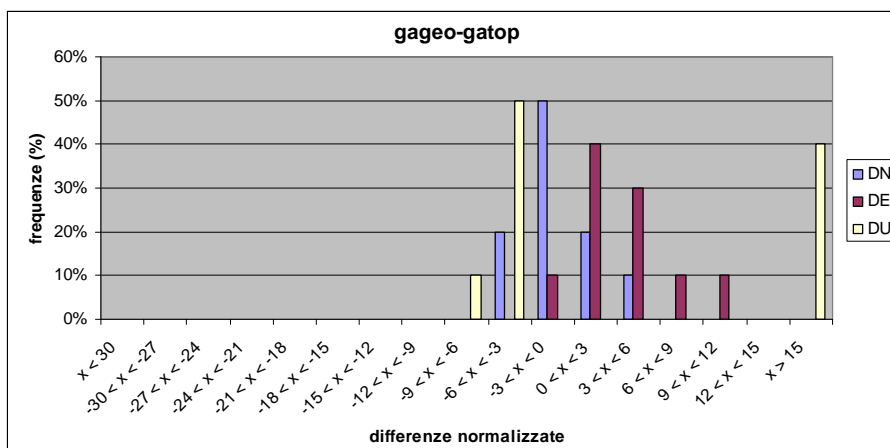


Grafico 4.9 – Istogramma delle differenze normalizzate relative al confronto gageo vs gatop

4.3 Clusterizzazione in Gamit

Rimanendo nell'ambito dei codici differenziati, in precedenza (si veda Cap 2.2.2) si è sottolineato che, mentre il *Bernese* non ha limiti relativi alla dimensione della rete da calcolare, il codice *Gamit* non può eseguire il calcolo su reti costituite da un numero di siti superiore a 99.

Detto limite di *Gamit* è però superabile suddividendo la rete in *cluster* e combinando insieme tra loro, le soluzioni giornaliere non inquadrare delle diverse sotto-reti, tramite il software *Globk*; i risultati così ottenuti vengono poi inquadrati mediante il pacchetto *Glorg*. L'operazione compiuta tramite *Globk* è definita "procedura di analisi distribuita" e consente di unire le diverse soluzioni mediante un approccio ai minimi quadrati, utilizzando le coordinate ed eventualmente le velocità di un certo numero di siti (almeno 3), comuni a tutte le sotto-reti.

In molte occasioni si è verificato il funzionamento di detta procedura soprattutto analizzando la Rete Dinamica Nazionale che, fortunatamente, è costituita da un numero di stazioni poco al di sotto del limite di *Gamit* (98 vs 99) e da un numero di *rinex* che consente di reiterare i calcoli in tempi non eccessivamente lunghi.

Si elencano nel seguito tutti i confronti effettuati:

- La rete *ItalPoS* è stata suddivisa in 5 *cluster* (si veda Fig 3.2); ogni *cluster* è stato calcolato insieme alle 13 stazioni di inquadramento *IGS/EUREF* (descritte nel Cap 2.2.4) e a 3 stazioni di controllo (AJAC, DUBR e MOSE). Le 13 stazioni di inquadramento sono state utilizzate sia per “unire” fra loro i 5 *cluster* tramite *Globk* che per effettuare l’inquadramento in *ITRF05* tramite *Glorg*. I 5 risultati ottenuti per le 3 stazioni di controllo sono stati confrontati fra loro.
- La *RDN* è stata suddivisa in 3 *cluster* con suddivisione geografica (Nord, Centro, Sud) con sovrapposizioni parziali (si veda Fig 4.4). Ogni *cluster* insieme alle 5 stazioni del o dei *cluster* vicini è stato trattato come una rete a sé, cioè è stato calcolato insieme alle 13 stazioni *IGS/EUREF* ed è stato inquadrato separatamente dagli altri. Dei siti a cavallo di due *cluster* (rappresentati con delle stelle in Fig 4.4) si hanno due terne di coordinate totalmente indipendenti in quanto ottenute da reti diverse. Dette coordinate sono state confrontate fra loro (questa soluzione è stata definita *gamcs* cioè soluzione *Gamit* con sovrapposizioni).

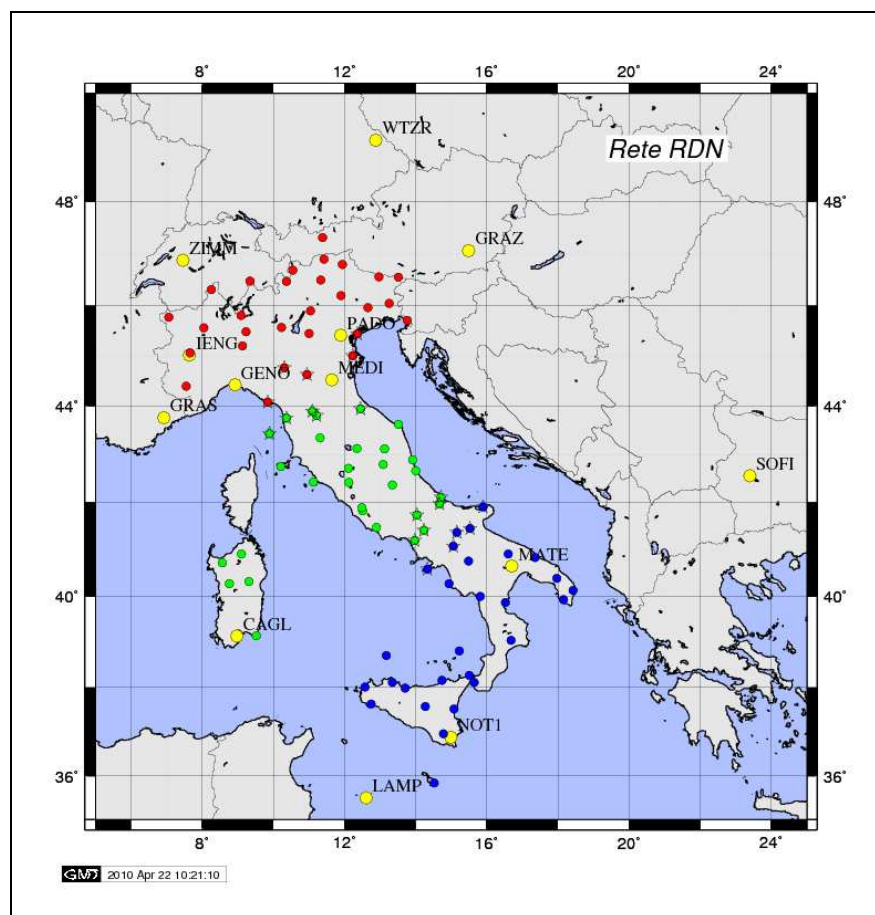


Figura 4.4 – Rete RDN suddivisa in 3 cluster (rosso, verde, blu) e stazioni utilizzate per l’inquadramento (giallo)

- La *RDN* è stata suddivisa in 3 *cluster* come nel caso precedente ma senza sovrapposizioni (si veda Fig 4.4 senza considerare la presenza delle stelle). I tre *cluster* sono stati calcolati separatamente insieme alle 13 stazioni *IGS/EUREF* che sono poi state utilizzate, sia per unire

i *cluster* con *Globk*, che per l'inquadramento con *Glorg* (questa soluzione è stata definita *gamss* cioè soluzione *Gamit* senza sovrapposizioni).

La *RDN* è stata suddivisa in 3 *cluster* con suddivisione “distribuita” (si veda Fig 4.5). Come nel caso precedente, i tre *cluster* sono stati calcolati separatamente insieme alle 13 stazioni *IGS/EUREF* che sono poi state utilizzate, sia per unire i *cluster* con *Globk*, che per l'inquadramento con *Glorg* (questa soluzione è stata definita *gamdi* cioè soluzione *Gamit* con suddivisione “distribuita”).

La soluzione *gamss* e la soluzione *gamdi* sono state confrontate fra loro.

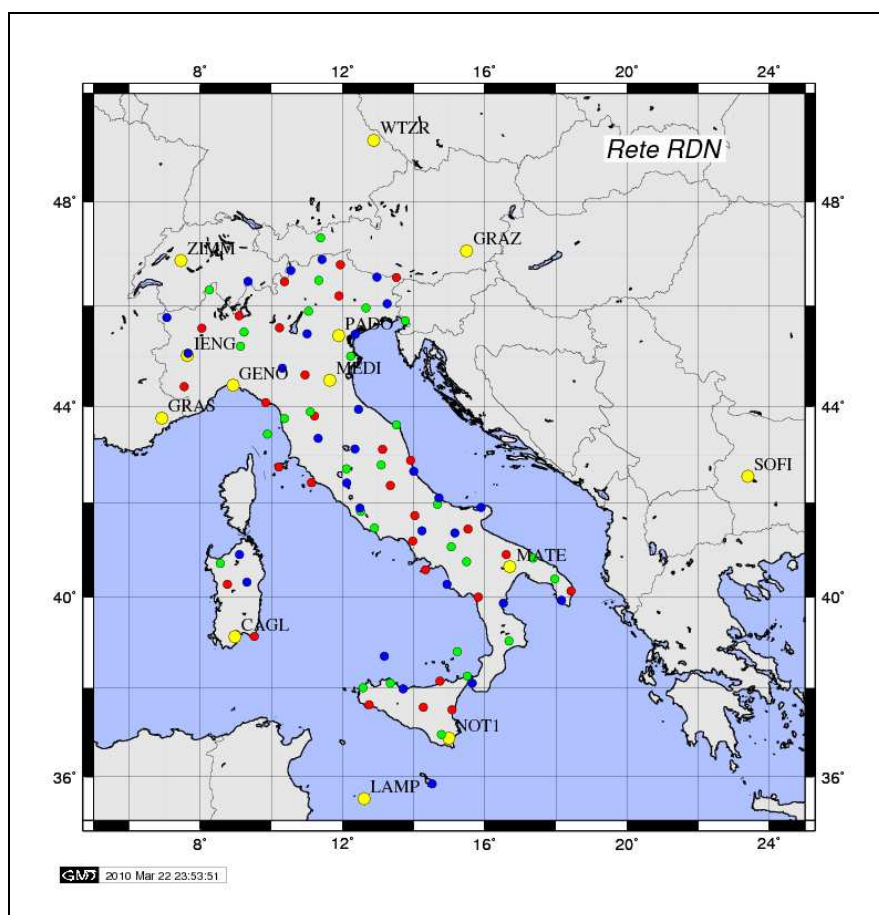


Figura 4.5 – Rete RDN suddivisa in 3 cluster (rosso, verde, blu) e stazioni utilizzate per l'inquadramento (giallo)

- La *RDN* è stata suddivisa in 2 *cluster* con suddivisione geografica Nord, Sud (si veda Fig 4.6). Come nei due casi precedenti, i due *cluster* sono stati calcolati separatamente insieme alle 13 stazioni *IGS/EUREF* che sono poi state utilizzate, sia per unire i *cluster* con *Globk*, che per l'inquadramento con *Glorg* (questa soluzione è stata definita *gamns* cioè soluzione *Gamit* con suddivisione Nord Sud). I risultati così ottenuti sono stati confrontati con quelli descritti nel Cap 3.3. Si ricorda che la soluzione *Gamit* utilizzata per il confronto con gli altri *software* era stata ottenuta utilizzando un singolo *cluster* e procedendo direttamente all'inquadramento tramite *Glorg*, sulla base delle coordinate e delle velocità

delle solite 13 stazioni *IGS/EUREF* (questa soluzione è stata definita *gam00* a indicare una soluzione a cluster singolo).

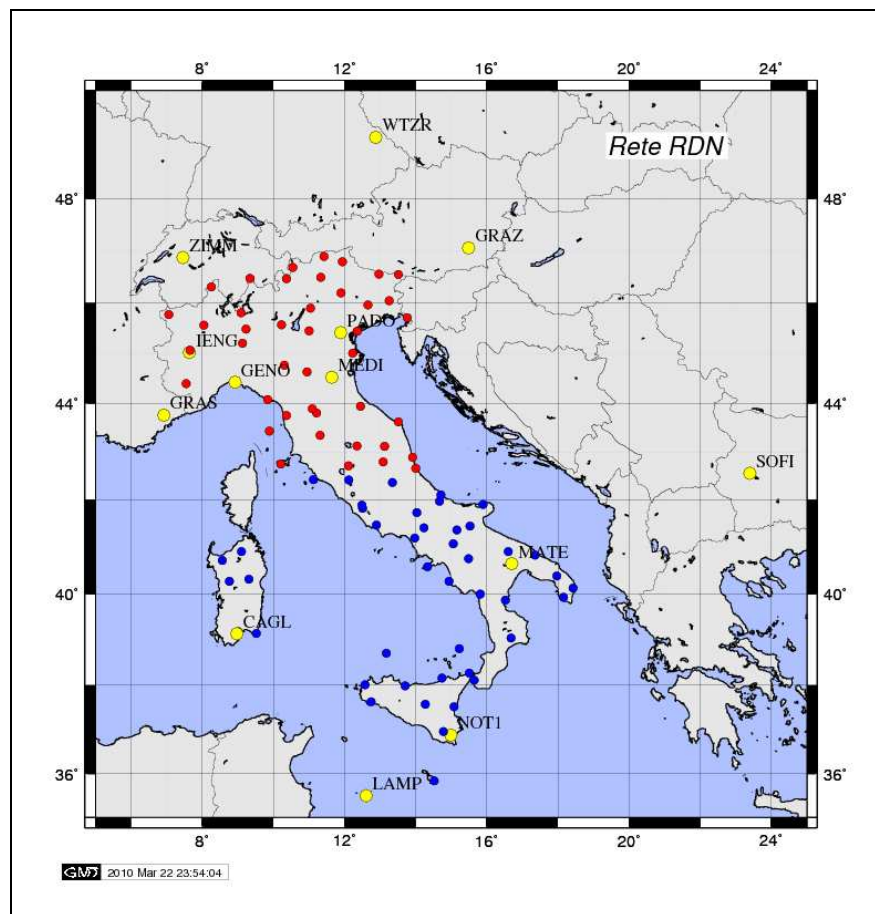


Figura 4.6 – Rete RDN suddivisa in 2 cluster (rosso, blu) e stazioni utilizzate per l'inquadramento (giallo)

Nel seguito, di tutti i confronti citati, si illustrerà solamente l'ultimo che, forse, è quello maggiormente rappresentativo in quanto analizza le suddivisioni più differenti dal punto di vista geometrico; si assicura però che tutti i confronti effettuati portano allo stesso risultato.

Si ricorda che l'archivio *RDN* è costituito da 85 stazioni a cui si aggiungono le 13 *IGS/EUREF*, la finestra temporale analizzata va dal *doy* 357 del 2007 al 019 del 2008 (28 giorni), per un totale di 2633 *rinex* a 30 secondi che, dopo l'eliminazione dei file con meno di 12 ore di dati, sono divenuti 2595 (si veda Tab 3.8).

Il nuovo processamento (*gamns*), come il vecchio (*gam00*), è stato effettuato applicando tutte le procedure illustrate nel Cap 2, però, in luogo dei tre *software*, ne è stato utilizzato uno soltanto (*Gamit*).

Naturalmente, anche per *gamns*, come valori rappresentativi della posizione di ogni singola stazione, sono stati utilizzati i valori interpolati (tramite l'equazione [5] di Cap 2.3.6) utilizzando, come epoca di riferimento t_0 , 2008.0 *decimal year*. Anche in questo caso, l'attenta analisi delle serie temporali, ha evidenziato che, per nessuna delle stazioni *RDN*, è necessario calcolare la media in luogo del valore propagato.

L'analisi statistica dei risultati (si veda Tab 4.8) mostra una leggera differenza fra le due soluzioni: per la soluzione a *cluster* singolo, la "4PG", ha rigettato a 3σ un maggior numero di *rinex*, però la differenza è al di sotto del mezzo punto percentuale.

		rinex scartati		rigettati		clear	
		numero	%	numero	%	numero	%
gamns		1	0,04	69	2,66	2525	97,30
gam00		1	0,04	80	3,08	2514	96,88

Tabella 4.8 – Tabella statistica relativa alle due soluzioni Gamit

dove:

- rinex scartati = Rinex NON processati da Gamit
- rigettati = Rinex rigettati a 3σ dalla procedura "4PG"
- clear = Soluzioni buone
- le percentuali sono espresse rispetto ai 2595 file post filtraggio

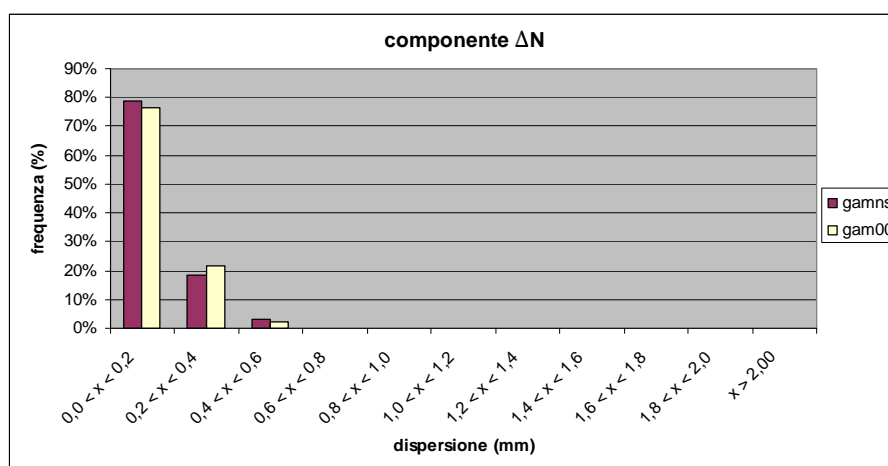


Grafico 4.10 – Istogramma della dispersione della componente ΔN per le due soluzioni

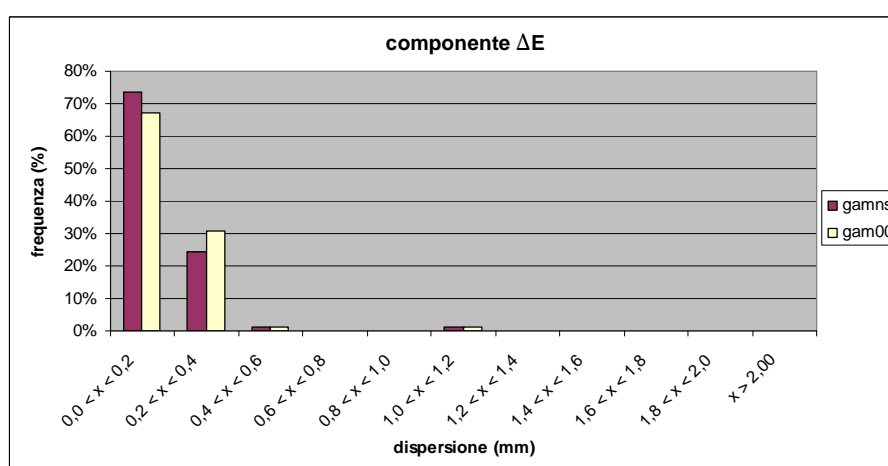


Grafico 4.11 – Istogramma della dispersione della componente ΔE per le due soluzioni

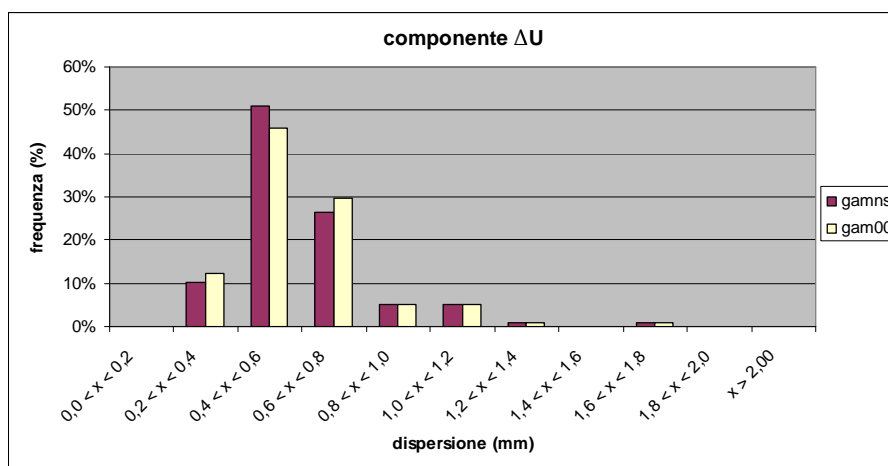


Grafico 4.12 – Istogramma della dispersione della componente ΔU per le due soluzioni

Al contrario, gli istogrammi 4.10-4.12 e la Tab 4.9, mostrano che, dal punto di vista dell'indeterminazione reale (ottenuta dall'equazione [6] di Cap 2.3.6), le due soluzioni sono quasi coincidenti, inoltre risulta evidente che le indeterminazioni sono in generale molto basse.

Software		Media (mm)	Deviazione Standard (mm)	Massimo (mm)
gamns	$\sigma\Delta N$	0,2	0,1	0,6
	$\sigma\Delta E$	0,2	0,1	1,1
	$\sigma\Delta U$	0,7	0,2	1,8
gam00	$\sigma\Delta N$	0,2	0,1	0,6
	$\sigma\Delta E$	0,2	0,1	1,1
	$\sigma\Delta U$	0,7	0,2	1,8

Tabella 4.9 – I principali parametri statistici relativi alla dispersione delle serie temporali delle due soluzioni

Passando al confronto vero e proprio, fra le due soluzioni ottenute con i diversi partizionamenti, si mostra la Tab 4.10 ove sono riportati i principali parametri statistici relativi alle differenze ottenute con la equazione [9] di Cap 2.3.7.

Differenze (mm)		gamns-gam00
ΔN	Media	0,0
	St.dev	0,1
	Max.abs	0,3
ΔE	Media	0,0
	St.dev	0,1
	Max.abs	0,2
ΔU	Media	-0,1
	St.dev	0,3
	Max.abs	0,6

Tabella 4.10 – I principali parametri statistici relativi al confronto fra le due soluzioni

Le differenze relative alle tre coordinate, risultano essere sub millimetriche, sia come media, che come deviazione standard e addirittura come massima differenza in valore assoluto. Come si evince anche dalla Fig 4.7, ove sono rappresentate le poc'anzi citate differenze e la loro distribuzione sul territorio nazionale, le due soluzioni sono praticamente coincidenti (in Fig 4.7, i cerchi con area proporzionale alle differenze, il più delle volte non si vedono).

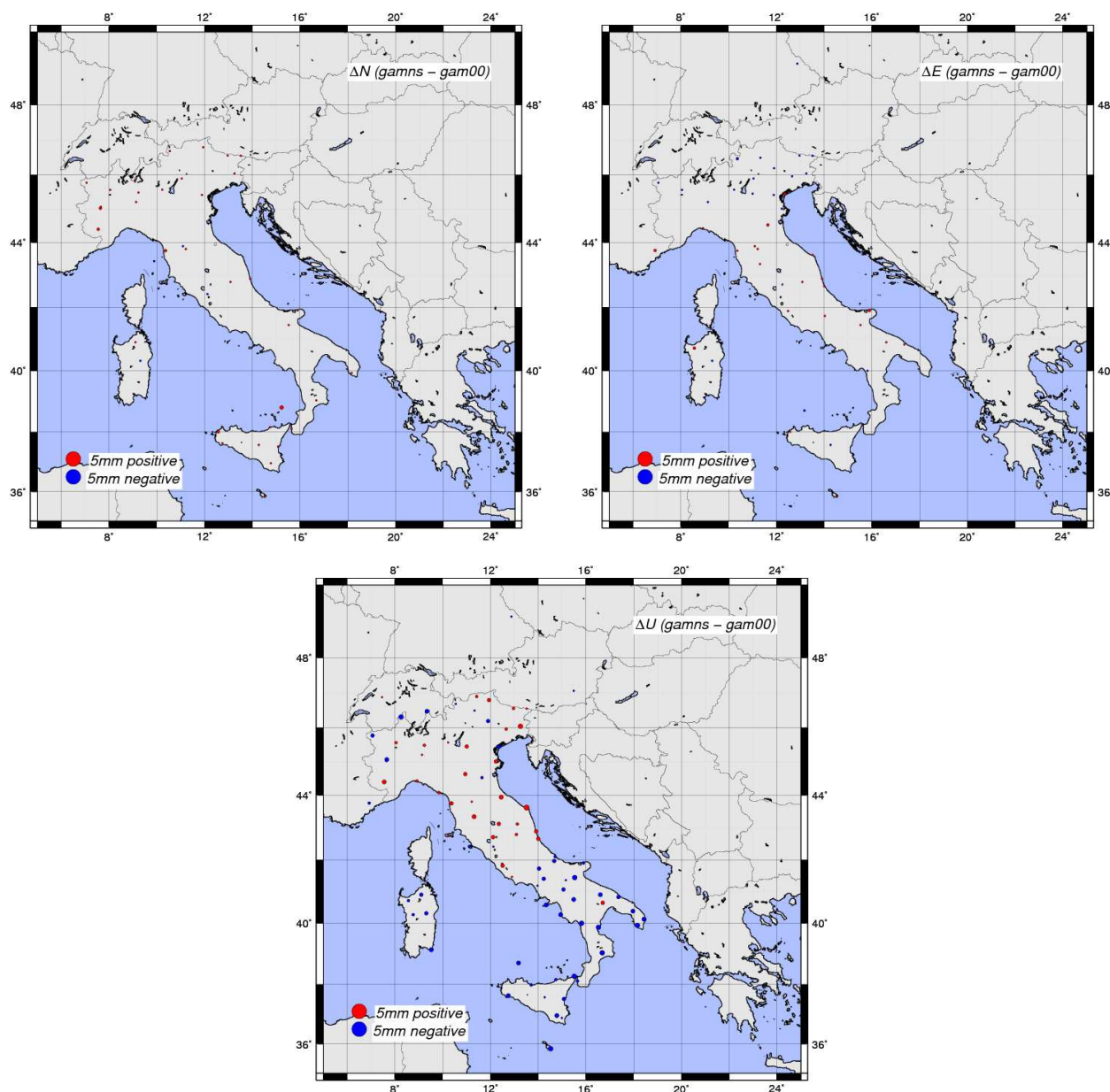


Figura 4.7 – Differenze fra la soluzione Gamit a 2 cluster (Nord, Sud) e la soluzione Gamit a cluster singolo in coordinate geodetiche locali (ΔN , ΔE e ΔU)

In questo caso non si mostrerà l'istogramma delle differenze normalizzate in quanto esso tende a perdere di significato qualora tutte le differenze risultano essere sub millimetriche.

Si conclude ribadendo che, tutti i confronti citati all'inizio del capitolo, portano al seguente risultato: la “procedura di analisi distribuita” compiuta tramite *Globk*, non modifica i risultati in modo apprezzabile rispetto al calcolo a cluster singolo; si sottolinea che in alcuni dei confronti effettuati, la lunghezza media delle basi tra le stazioni della rete, cambia in modo sostanziale (si consideri, a titolo di esempio, il confronto *gamss* vs *gamdi*, cioè il confronto fra la soluzione

Gamit a 3 *cluster* con suddivisione geografica NCS illustrata in Fig 4.4 e la soluzione *Gamit* a 3 *cluster* con suddivisione “distribuita” illustrata in Fig 4.5).

5 Evoluzione della RDN

Grazie alla disponibilità dell'*IGMI*, è stato possibile analizzare l'evoluzione dell'archivio *RDN*. Sono stati messi a disposizione ulteriori 4 intervalli temporali di dati, della lunghezza di 4 settimane *GPS* ognuno, intercalati di 6 mesi, per un totale di 140 giorni distribuiti in 2 anni (si veda Tab 5.1).

Spezzone	Intervallo temporale
Pezzo_00	357/2007 → 019/2008
Pezzo_01	167/2008 → 194/2008
Pezzo_02	356/2008 → 017/2009
Pezzo_03	165/2009 → 192/2009
Pezzo_04	354/2009 → 016/2010

Tabella 5.1 – Intervalli temporali del “nuovo” archivio RDN

Il “nuovo” archivio *RDN* è stato sottoposto a un'attenta analisi e ripulitura, ciononostante, tutti i risultati descritti in questo capitolo, vanno intesi come preliminari e non ufficiali.

Complessivamente, il numero di stazioni che costituiscono la rete, è divenuto pari a 102 comprese le 13 stazioni *IGS/EUREF* di inquadramento; si consideri però che alcune di esse, assai probabilmente, verranno abbandonate in quanto contraddistinte da un ridotto numero di *rinex*.

Quindi l'intero archivio, comprensivo dell'intervallo temporale analizzato in precedenza, è costituito da 102 stazioni, in 140 giorni, per un totale di 11553 *rinex* a 30 secondi.

Come in precedenza, si è scelto di eliminare i *file* con meno di 12 ore di osservazioni, così facendo sono stati scartati 127 *rinex* che corrispondono al 1,1% del totale.

Rispetto al passato, due stazioni sono state rinominate:

- CA06 → VILS;
- BRES → BREA;

e 4 stazioni sono state aggiunte:

- PALE;
- RIET;
- TERN;
- GROS.

La consistenza dell'archivio è illustrata in Tab 5.1 ove le celle colorate indicano le lacune, mentre il carattere rosso indica uno scarso numero di *rinex* (come soglia puramente indicativa si è scelta la decade). Si tenga presente che i dati in Tab 5.1 sono relativi agli 11426 *file* post filtraggio.

PROG	SITI	pezzo_00	pezzo_01	pezzo_02	pezzo_03	pezzo_04	all
1	acom	28	27	28	27	25	135
2	alfe	27			5	24	56
3	amur	28	28	28	28	28	140
4	aqui	28	28	28	28	28	140
5	biel	28		23	28	27	106
6	borm	28	9	28	28	26	119
7	brbz	28	28	28	24	25	133
8	brea	28		28	28	25	109
9	bzrg	28	28	28	28	28	140
10	cagl	28	28	28	27	28	139
11	came	27	28	4	11		70
12	camp	26	28	27	25	14	120
13	capo	25		17	12		54
14	cari	28					28
15	como	28	26	28	28	28	138
16	comu	26					26
17	cucc	28	25	28	25	28	134
18	cune	25		16	24	26	91
19	deve	28		28	26	9	91
20	eiiv	22	24	28	28	28	130
21	elba	28	28	15			71
22	enav	28	27	28	28	28	139
23	enna	23		13	24	25	85
24	fasa	28	26	21	28	28	131
25	fogg	28	26	21	28	28	131
26	fres	28	28	28	28	26	138
27	geno	28		28	28	28	112
28	giur	28	26	21	28	28	131
29	gras	28	28	27	28	28	139
30	graz	28	28	28	16	27	127
31	grog	28	28	26	28		110
32	gros					26	26
33	grot	24	25	28	28	28	133
34	hmdc	28	26	28	22	2	106
35	ieng	28	27	28	26		109
36	igmi	28	24	28	27	24	131
37	ingr	28	28	27	28	28	139
38	isch	28	26	21	28	28	131
39	lamp	28	28	26	5		87
40	lasp	28	28		28	28	112
41	lat1	27			28		55
42	m0se	28	28	27	28	28	139
43	mabz	28	28	27	25	25	133
44	maco	24		28	24	24	100
45	mada	28		21	27	28	104
46	malt	27	28	28	28	23	134
47	maon	28	28	28	28	28	140
48	mart	28	16		26	23	93
49	mate	27	28	28	28	28	139
50	medi	26	28	28	28	28	138
51	mila	28	9	27	26	25	115
52	milo	23	28	28	28	28	135
53	moco	27	28	25	28	21	129
54	mops	28	28	28	26	27	137

PROG	SITI	pezzo_00	pezzo_01	pezzo_02	pezzo_03	pezzo_04	all
55	mrge	18	28	19	28	3	96
56	mrhc	27	28	28	28	28	139
57	msru	28	27	26	28	27	136
58	Not1	22	23	28	28	28	129
59	Nu01	28		25	22		75
60	pado	12	25	27	28	24	116
61	pale		28	27	25	14	94
62	parm	28	28	28	28	28	140
63	pass	26		27	28	27	108
64	pavi	28		27	28	28	111
65	pord	26	22	26	27	25	126
66	prat	27	28	28	28	24	135
67	reno	28	27	28	19	28	130
68	Riet		28	26	26	26	106
69	rove	26		20	28		74
70	rsmn	28	27	20	28		103
71	Rsto	28	28	28	28	28	140
72	sasa	28	26	21	28	28	131
73	sass	24		28	28	27	107
74	sers	28	28	28	28	28	140
75	sien	28		25	28	28	109
76	smar	28					28
77	sofi	27	28	27	28	28	138
78	stbz	28	27	28	25	25	133
79	stue	28	28	28	28	28	140
80	svin	28	26	28	28	28	138
81	temp	16		28	24	26	94
82	term	26	28	26	25	12	117
83	tern		28	26	27	26	107
84	tgpo	17		10	21	14	62
85	Tgrc	18			13	28	59
86	Tori	27	28	16	28	28	127
87	treb	21			5	25	51
88	Trie	28	28	28	27	28	139
89	Udi1	28	27	28	27	28	138
90	ugen	25	26	21	28	28	128
91	unov	28	28	28	12	28	124
92	unpg	28	28	27	28	28	139
93	usix	28	28	28	28		112
94	vaga	28	28	28	2	20	106
95	vast	26	16		24	26	92
96	vear	22			28	20	70
97	vero	22		16	28	25	91
98	Vils	28		27	27	27	109
99	Vite	26			28		54
100	wtzr	28	28	28	28	28	140
101	zimm	28	28	28	28	28	140
102	zouf	28	28	28	28	15	127
		N. Staz.	N. Staz.	N. Staz.	N. Staz.	N. Staz.	N. Staz.
		98	73	89	97	87	102
		N. file	N. file	N. file	N. file	N. file	N. file
		2595	1928	2260	2454	2189	11426

Tabella 5.2 – Stazioni della rete RDN e relativo numero di rinex

Naturalmente, anche questo processamento, è stato effettuato seguendo la strategia di calcolo illustrata nel Cap 2, però, in luogo dei tre *software*, sono stati utilizzati soltanto *Gamit* e *Gipsy* (del resto, lo scopo di questo capitolo, non è il confronto fra *software*).

Per quanto attiene il partizionamento della *RDN* finalizzato al calcolo con il software *Gamit*, nonostante la rete sia attualmente costituita da 102 stazioni, sarebbe stato possibile compiere il calcolo a *cluster* singolo in quanto, in nessuno dei 140 giorni, c'è la contemporanea presenza di un numero di *rinex* superiore a 99. Ciononostante la *RDN* è stata suddivisa “geograficamente” in 2 *cluster* (Nord Sud; si veda Fig 4.6) in quanto, così facendo, si ha una drastica riduzione dei tempi di calcolo (si veda Cap 3.5) e praticamente nessun cambiamento in merito ai risultati ottenuti (si veda Cap 4.3).

Così come si fece per il primo intervallo temporale, come valori rappresentativi di ogni singola stazione, sono stati utilizzati i valori interpolati (tramite l'equazione [5] di Cap 2.3.6) utilizzando, nei 4 casi, altrettante epoche di riferimento quasi baricentriche rispetto ai relativi intervalli temporali, si veda a tal proposito Tab 5.3.

Spezzone	Epoca di riferimento t_0
Pezzo_00	2008.0
Pezzo_01	2008.5
Pezzo_02	2009.0
Pezzo_03	2009.5
Pezzo_04	2010.0

Tabella 5.3 – Epoche di riferimento relative ai 5 intervalli temporali

In pratica la “4PG” è stata lanciata separatamente 5 volte sugli altrettanti intervalli temporali, in modo da avere 5 soluzioni e 5 rette di regressione ognuna valida per lo spezzone temporale di appartenenza.

La “4PG” è stata poi eseguita su tutti i 140 giorni contemporaneamente, utilizzando, come epoca di riferimento t_0 per la interpolazione, 2010.0 *decimal year*. Si è scelta l'epoca baricentrica più recente, in modo che sia immediato il calcolo dello spostamento complessivo delle stazioni *RDN* nell'intero intervallo temporale considerato (confrontando le coordinate ottenute per il 2010.0 a quelle ottenute per il 2008.0). In questo caso è risultato necessario utilizzare il valore mediato (tramite l'equazione [7] di Cap 2.3.6), piuttosto che quello propagato, per le seguenti 4 stazioni:

- CARI;
- COMU;
- GROS;
- SMAR;

che, come si evince da Tab 5.2, sono le uniche stazioni per le quali si possiedono dati di uno soltanto degli intervalli temporali considerati (molto probabilmente, 3 di queste stazioni verranno presto abbandonate).

Per quanto riguarda l'analisi statistica dei risultati, è interessante il confronto fra quanto ottenuto eseguendo la "4PG" separatamente sui 5 intervalli temporali (si veda la porzione superiore di Tab 5.4 che nel suo complesso è relativa ai soli dati *Gamit*) e quanto ottenuto eseguendo la "4PG" contemporaneamente sui 140 giorni (si veda la porzione inferiore di Tab 5.4).

	rinx	rinx scartati		rigettati		clear	
	numero	numero	%	numero	%	numero	%
pezzo-00	2595	1	0,04	70	2,70	2524	97,26
pezzo-01	1928	0	0,00	41	2,13	1887	97,87
pezzo-02	2260	0	0,00	68	3,01	2192	96,99
pezzo-03	2454	0	0,00	50	2,04	2404	97,96
pezzo-04	2189	0	0,00	124	5,66	2065	94,34
Totale	11426	1	0,01	353	3,09	11072	96,90

	rinx	rinx scartati		rigettati		clear	
	numero	numero	%	numero	%	numero	%
All	11426	1	0,01	579	5,07	10846	94,92

Tabella 5.4 – Tabella statistica relativa ai dati Gamit eseguendo la "4PG" secondo diverse modalità

dove:

- **rinx** = Rinx post filtraggio
- **rinx scartati** = Rinx NON processati da Gamit
- **rigettati** = Rinx rigettati a 3σ dalla procedura "4PG"
- **clear** = Soluzioni buone
- le percentuali sono espresse rispetto ai file post filtraggio

Come è ovvio che sia, effettuando il calcolo delle 5 rette di regressione, vengono rigettati a 3σ assai meno *rinx* di quanti ne vengono rigettati effettuando il calcolo della retta di regressione unica.

Tutte le considerazioni che verranno effettuate nel seguito saranno relative ai risultati ottenuti eseguendo la "4PG" contemporaneamente sui 140 giorni. La regressione sui dati nel loro complesso, il più delle volte, porta a risultati analoghi a quello rappresentato nel grafico 5.1 (ove la spaziatura lungo l'asse delle ordinate è 5 mm per le componenti ΔN e ΔU e 1 cm per la componente ΔE , mentre lungo l'asse delle ascisse è di 0.5 *decimal year*). Naturalmente, in alcuni casi, in luogo delle cinque nuvole di punti, se ne possono avere quattro, tre, due e addirittura una (come si evince dalla Tab 5.2).

In due casi:

- LAT1;
- TORI;

sono stati riscontrati problemi, assai probabilmente dovuti a un cambio di strumentazione di cui non si è tenuto conto in fase di calcolo; nel grafico 5.2 si mostra, a titolo di esempio, LAT1, per la quale il problema non è l'avere 2 nuvole di punti piuttosto che 5, bensì è il coefficiente angolare della componente ΔU (in detto grafico la spaziatura lungo l'asse delle ordinate è 5 mm per le componenti ΔN e ΔE e 1 cm per la componente ΔU).

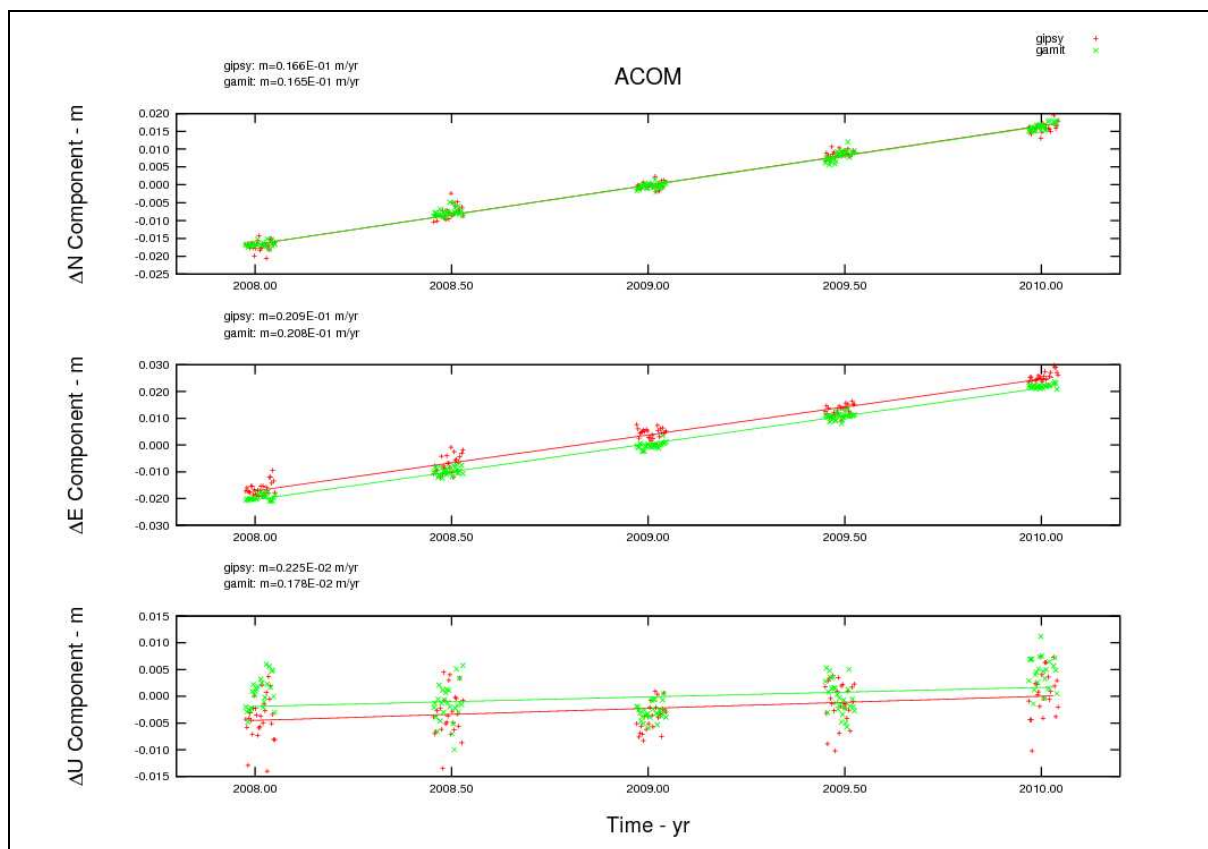


Grafico 5.1 – Esempio di stazione RDN priva di problemi

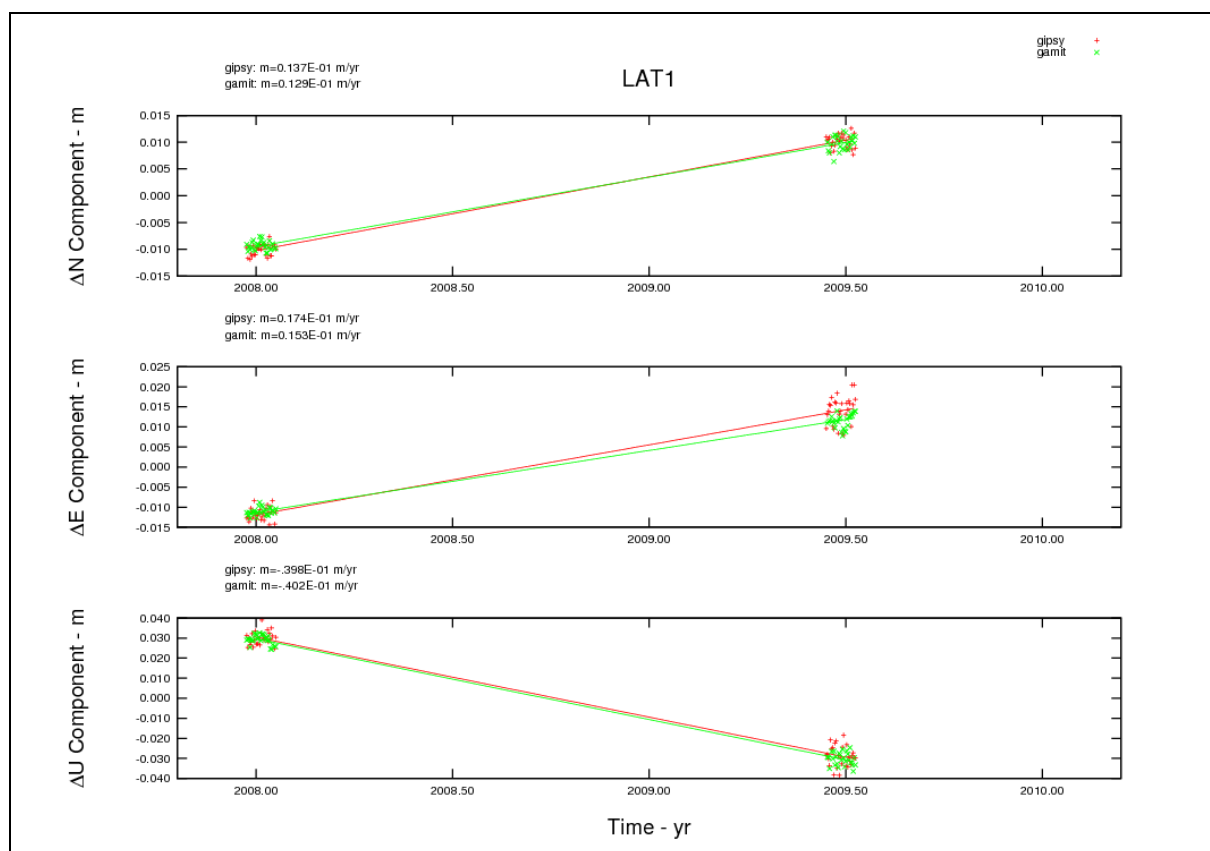


Grafico 5.2 – Esempio di stazione RDN con problemi

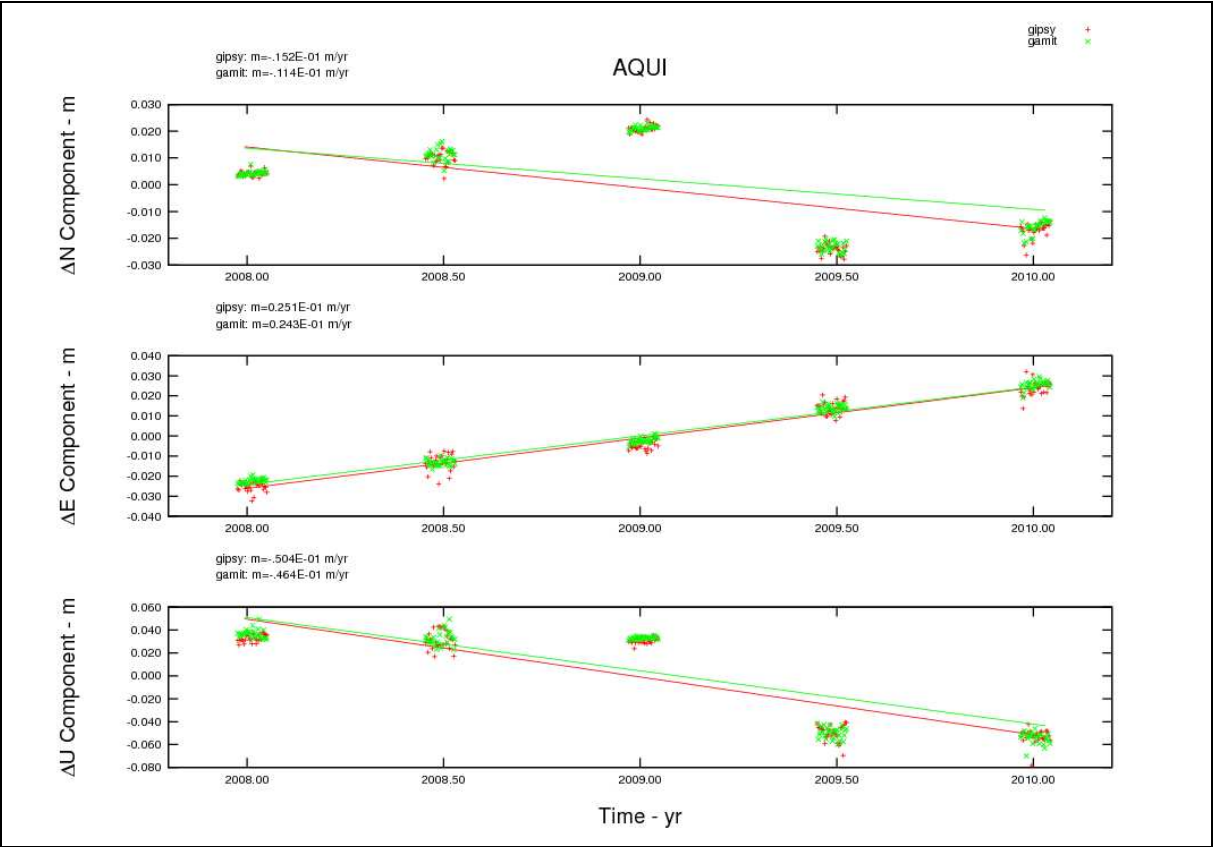


Grafico 5.3 – AQUILA procedura automatica (gamit in verde, gipsy in rosso)

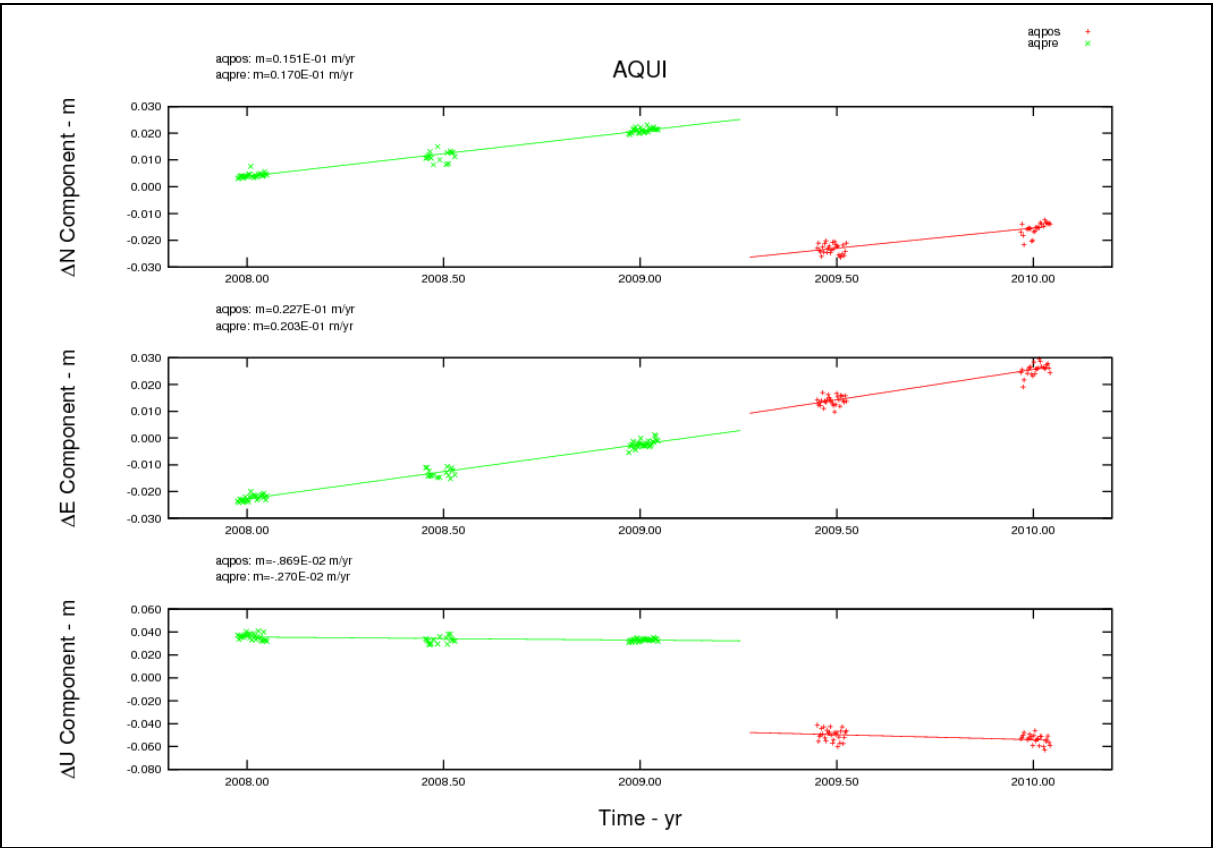


Grafico 5.4 – AQUILA procedura manuale (dati pre sisma in verde, dati post sisma in rosso)

Un ulteriore problema riscontrato è quello, con risvolti tragici, rappresentato nei grafici 5.3 e 5.4 (ove la spaziatura lungo l'asse delle ordinate è 1 cm per le componenti ΔN e ΔE e 2 cm per la componente ΔU , mentre lungo l'asse delle ascisse è di 0.5 *decimal year*). Naturalmente, il calcolo automatico della retta di regressione, non può in nessun modo tener conto di salti reali nelle coordinate di un punto e quindi, per ottenere il secondo dei due grafici, è stato necessario procedere manualmente propagando ora “in avanti” ora “all’indietro” all’epoca 2009.260677 (ore 03:32 del 06 aprile 2009). Si sottolinea che nel grafico 5.4 si è riportata esclusivamente la soluzione *Gamit* e che i colori verde e rosso indicano rispettivamente i dati antecedenti e successivi al sisma.

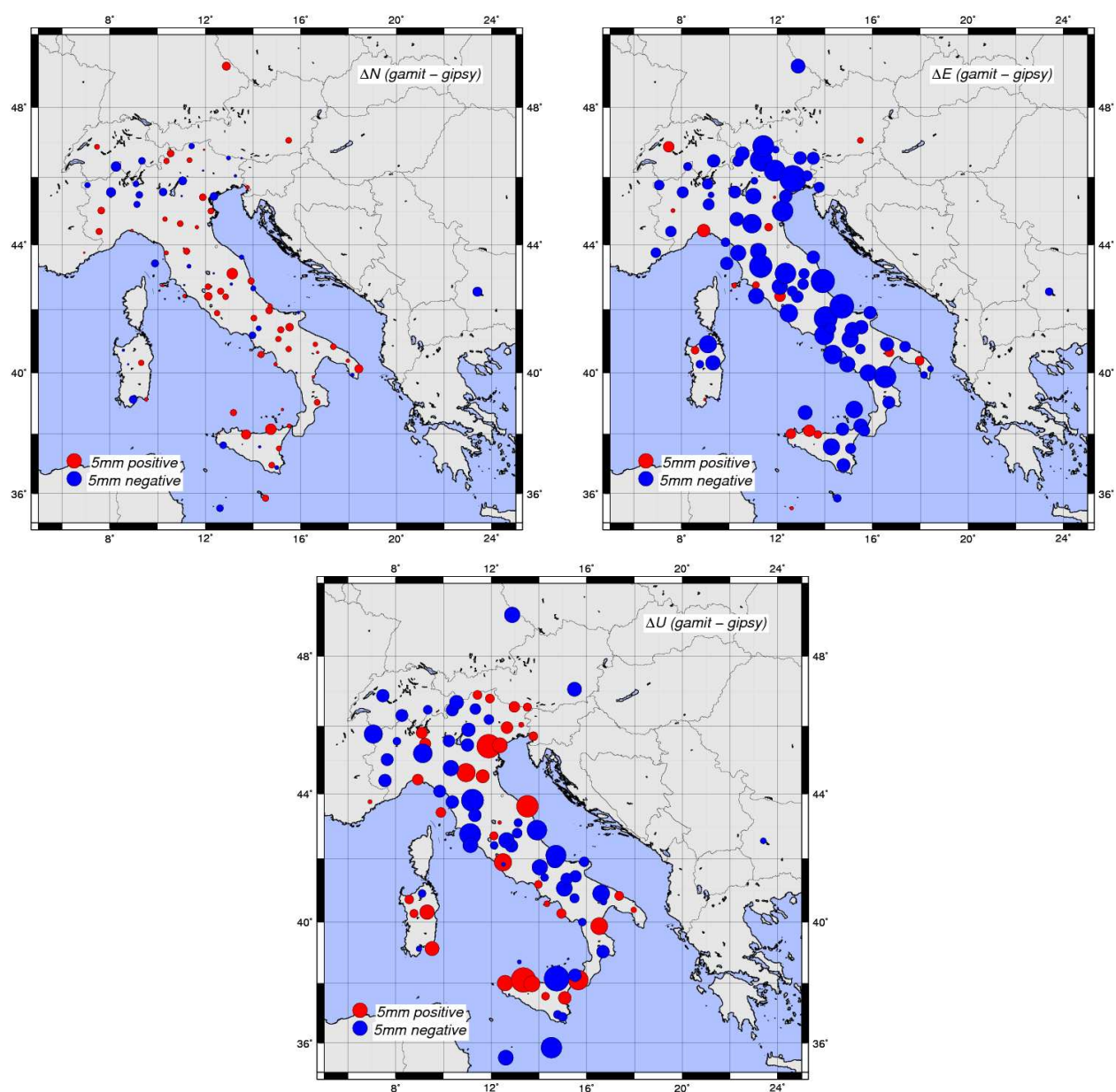


Figura 5.1 – Differenze delle soluzioni Gipsy rispetto alle soluzioni Gamit in coordinate geodetiche locali (ΔN , ΔE e ΔU)

Come si è detto in precedenza, in questa sede, non si vogliono confrontare i risultati ottenuti dai due codici (*Gamit* e *Gipsy*), si mostrano comunque le mappe ove sono riportate le differenze fra

le due soluzioni e la loro distribuzione sul territorio, ottenute con le modalità descritte nel Cap 2.3.7 (si veda Fig 5.1). Per ovvi motivi, in Fig 5.1, non sono state *plottate* AQUI, LAT1 e TORI (di cui si è parlato dianzi).

Come più volte sottolineato i 140 giorni di dati disponibili coprono, in realtà, un intervallo di tempo pari a 2 anni, di conseguenza, i coefficienti angolari delle rette di regressione calcolate dalla “4PG”, sono una stima abbastanza attendibile delle velocità *ITRF* delle stazioni *RDN*.

Sfruttando un apposito comando del software *Open Source GMT* (*psvelo*), in Fig 5.2, sono state rappresentate le velocità ottenute elaborando i risultati del codice *Gamit*; naturalmente si è scelto di non *plottare* le velocità delle 4 stazioni presenti in un solo intervallo temporale (CARI, COMU, GROS, SMAR) e delle 3 stazioni affette da “problemi” (AQUI, LAT1, TORI).

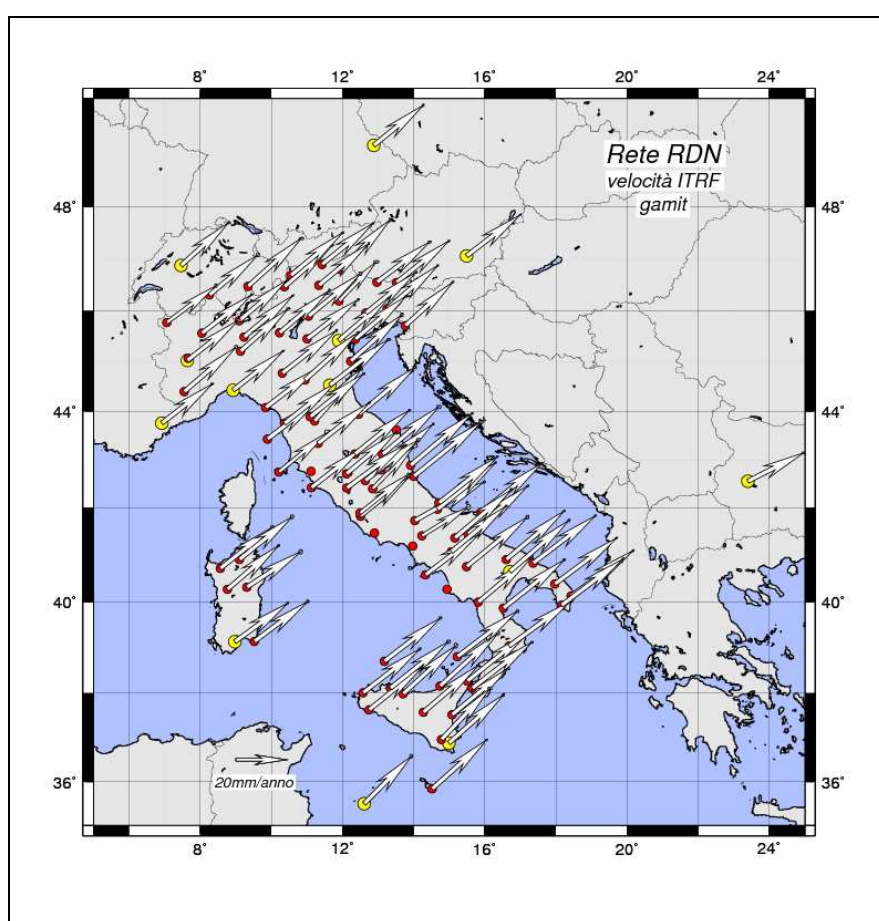


Figura 5.2 – Velocità ITRF delle stazioni RDN

Da Fig 5.2 risulta evidente il movimento verso Nord Est della placca Euro-Asiatica.

Si ricorda a questo punto che la “4PG” prevede anche la conversione delle coordinate *ITRF* in coordinate *ETRF* (si veda Cap 2.3.5) e quindi, a titolo di esempio, la conversione del grafico 5.1 nel grafico 5.5 (ove la spaziatura lungo l’asse delle ordinate è 2 mm per le componenti ΔN e ΔE e 5 mm per la componente ΔU , mentre lungo l’asse delle ascisse è di 0.5 *decimal year*).

In Fig 5.3 sono state *plottate* le velocità *ETRF* delle stazioni *RDN* ottenute elaborando i risultati del codice *Gamit* (si sottolinea che la scala di Fig 5.3 coincide con la scala di Fig 5.2).

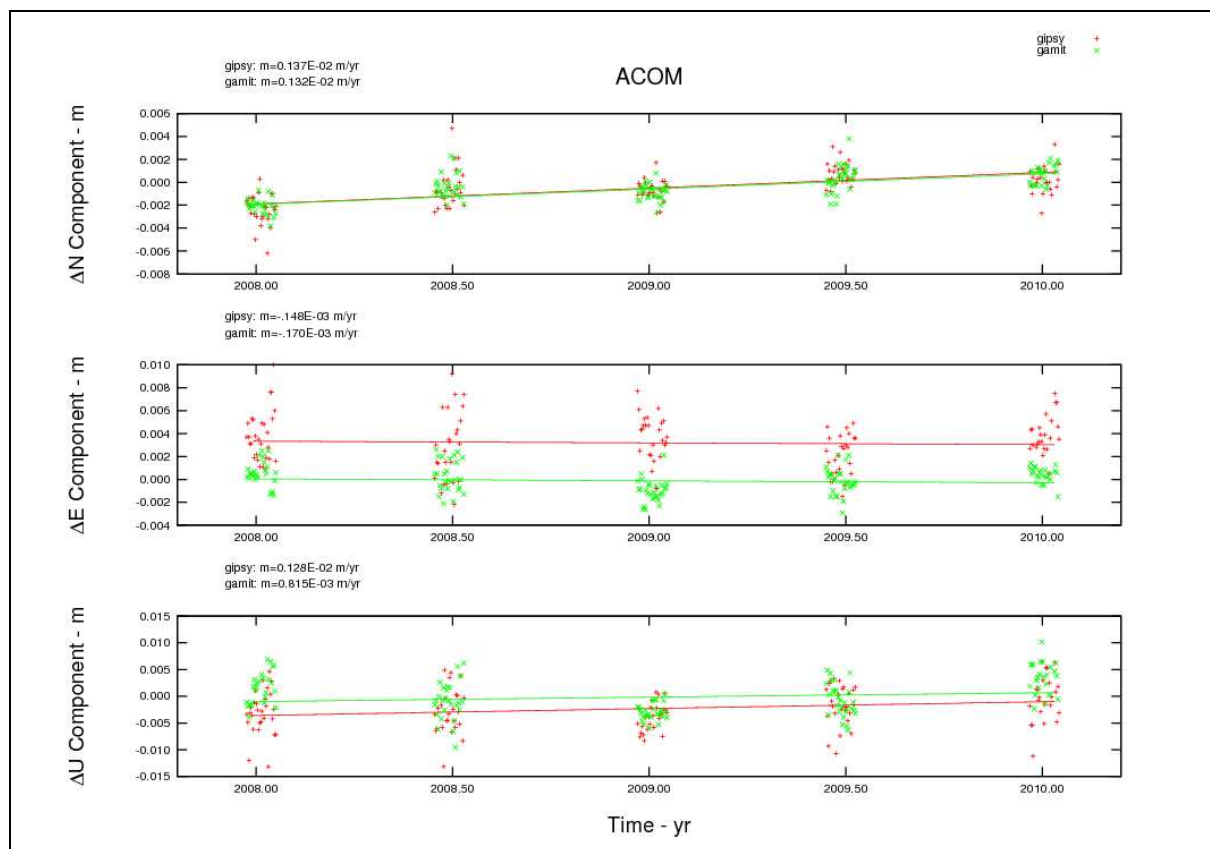


Grafico 5.5 – ACOM: coordinate ETRF e relative rette di regressione

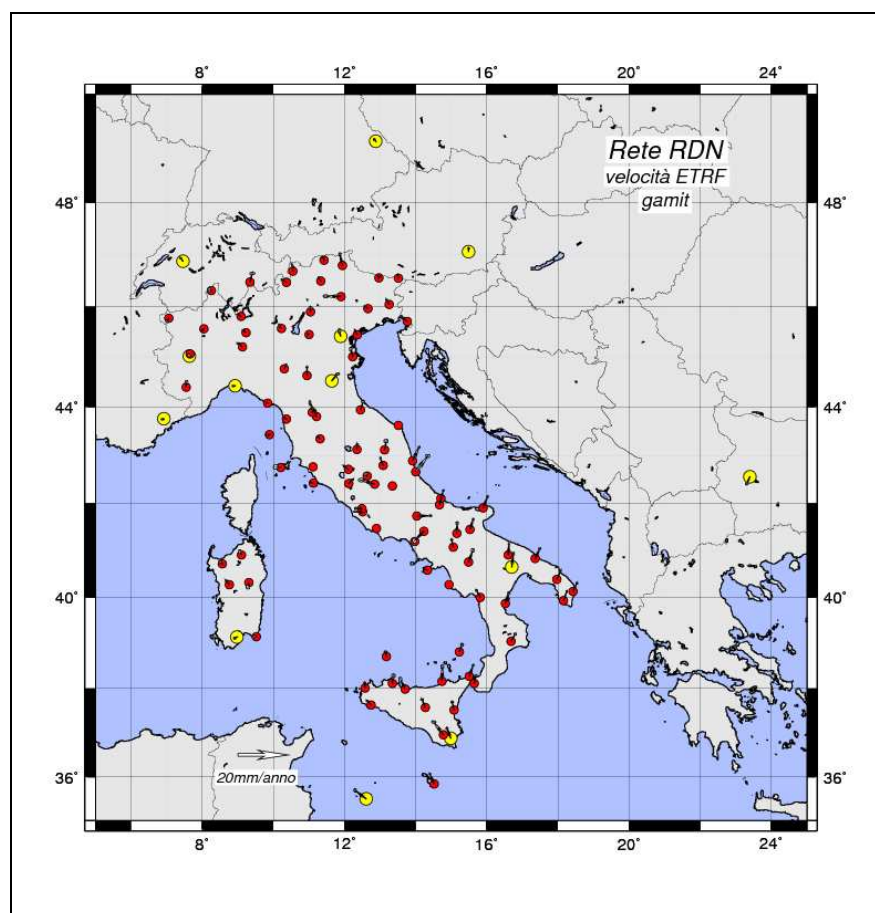


Figura 5.3 – Velocità ETRF delle stazioni RDN

Il confronto fra le figure 5.2 e 5.3 rende evidente che, se risulta necessario individuare delle coordinate convenzionalmente fissate a una determinata epoca, la scelta del sistema di riferimento *ETRS* solidale alla placca Euro-Asiatica, piuttosto che il sistema *ITRS*, è senza dubbio la migliore. Ciò è quanto è stato fatto dall'*IGMI* (*IGMI*f, WP) che ha pubblicato, sul proprio sito, le coordinate *ETRF00* all'epoca 2008.0 delle stazioni *RDN* (insieme alle coordinate *ITRF05* sempre all'epoca 2008.0).

Al fine di meglio evidenziare i movimenti delle stazioni *RDN*, dopo l'eliminazione del movimento della placca Euro-Asiatica, si mostra l'ennesima figura (si veda Fig 5.4) ove, rispetto alla precedente, si è cambiata esclusivamente la scala (aumentandola di un fattore 10).

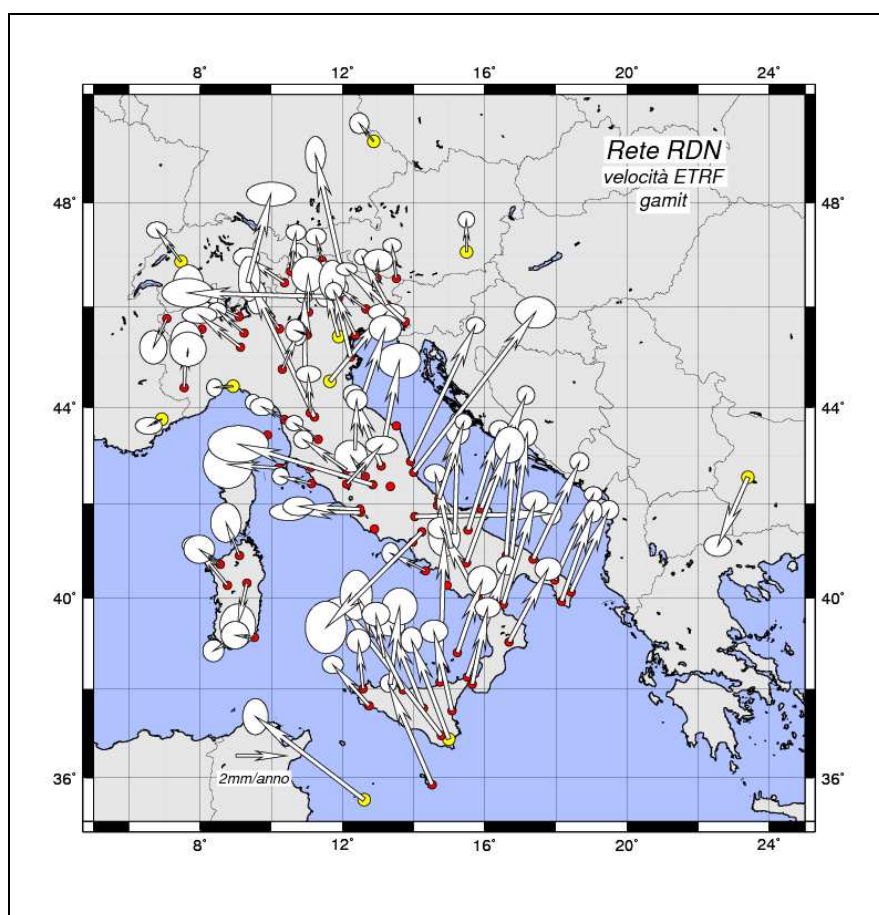


Figura 5.4 – Velocità ETRF delle stazioni RDN (con scala maggiorata)

Con queste pagine si è quindi mostrato che è attualmente possibile calcolare delle velocità *ITRF* per le stazioni *RDN*; detto che si è avuto modo di verificare che l'*IGMI* possiede, come ovvio, i *rinex* delle stazioni *RDN* a partire dal *doy* 126/2008, la Rete Dinamica Nazionale potrà a breve essere utilizzata per inquadrare in *ITRF05* una qualsiasi (sia in termini di spazio che in termini di tempo) rete regionale in Italia.

6 Conclusioni

All'ideazione, all'implementazione e alla messa a punto delle procedure automatiche finalizzate alla preparazione degli archivi, all'analisi dei risultati e al loro confronto qualora si sia in possesso di più soluzioni, è stato dedicato molto tempo. Però, dette procedure, si sono dimostrate uno strumento indispensabile: non è pensabile altrimenti analizzare migliaia se non decine di migliaia di file, a maggior ragione qualora risulta necessario reiterare i processamenti per effettuare test scientifici.

Tramite le citate procedure è stato possibile, al tempo stesso, calcolare la posizione delle stazioni permanenti di alcune reti locali e nazionali e confrontare alcuni fra i più importanti codici scientifici che assolvono a tale funzione (*Bernese*, *Gamit* e *Gipsy*).

A tal fine è stato indispensabile individuare una strategia di calcolo comune in grado di garantire che, i dati ancillari e i parametri fisici adottati, non costituiscano fonte di diversificazione tra le soluzioni ottenute con i tre *software*. Considerato che tutte le reti analizzate insistono sul territorio nazionale e che una di esse è una densificazione della *European Permanent Network (EPN)*, per uniformare i parametri di calcolo, come traccia, sono state utilizzate le linee guida *EUREF* che devono essere seguite da tutti coloro che intendono partecipare alla densificazione della *EPN*.

Per quanto riguarda il confronto fra i diversi *software* si è verificato che:

- le soluzioni ottenute dal *Bernese* e da *Gamit* (i due *software* differenziati) sono sempre in perfetto accordo;
- le soluzioni *Gipsy* (che utilizza il metodo indifferenziato) risultano, quasi sempre, leggermente più disperse rispetto a quelle degli altri *software* e mostrano talvolta delle apprezzabili differenze numeriche rispetto alle altre soluzioni, soprattutto per quanto attiene la coordinata Est; le differenze sono però contenute in pochi millimetri e le rette che descrivono i *trend* sono comunque praticamente parallele a quelle degli altri due codici;
- il citato *bias* in Est tra *Gipsy* e le soluzioni differenziate, è più evidente in presenza di determinate combinazioni Antenna/Radome e sembra essere legato all'uso delle calibrazioni assolute da parte dei diversi *software*.

E' necessario altresì considerare che *Gipsy* è sensibilmente più veloce dei codici differenziati e soprattutto che, con la procedura indifferenziata, il *file* di ciascuna stazione di ciascun giorno, viene elaborato indipendentemente dagli altri, con evidente maggior elasticità di gestione: se si individua un errore strumentale su di una singola stazione o se si decide di aggiungere o togliere una stazione dalla rete, non risulta necessario il ricalcolo dell'intera rete.

Per quanto attiene il *software Gamit*, si è visto che esso non può eseguire il calcolo su reti costituite da un numero di siti superiore a 99, ma ciò non è un limite, in quanto, tramite la "procedura di analisi distribuita", è possibile suddividere la rete in sotto-reti e combinare in seguito le soluzioni giornaliere non inquadrare delle diverse sotto-reti procedendo,

successivamente, all'inquadramento dei risultati così ottenuti. Sono stati effettuati una serie di test che dimostrano quanto, la "procedura di analisi distribuita", non modifica i risultati in modo apprezzabile rispetto al calcolo senza suddivisioni.

E' stato possibile verificare che, l'utilizzo dei certificati di calibrazione assoluta delle antenne effettuati tarando i singoli esemplari (fonte *Geo++*), in luogo della "calibrazione assoluta unica" (sempre realizzata dalla *Geo++*), comporta differenze inattese, al punto che si reputa opportuno effettuare ulteriori indagini in proposito.

Infine, insieme alle altre reti, è stato possibile analizzare la Rete Dinamica Nazionale, non solo i 28 giorni che hanno dato luogo alla sua prima definizione, bensì anche ulteriori quattro intervalli temporali di 28 giorni, intercalati di sei mesi e che coprono quindi un intervallo temporale complessivo pari a due anni. Si è così potuto verificare che la *RDN* può essere utilizzata per l'inserimento in *ITRF05* di una qualsiasi rete regionale in Italia. Da un lato sono state stimate le velocità *ITRF* (puramente indicative e non ufficiali) delle stazioni *RDN* e, dall'altro, è stata effettuata una prova di inquadramento di una rete regionale in *ITRF*, tramite *RDN*, e si è verificato che non si hanno differenze apprezzabili rispetto all'inquadramento in *ITRF*, tramite un congruo numero di stazioni *IGS/EUREF*.

7 Bibliografia

Altamimi Z., Collilieux X., Legrand J., Garayt B., Boucher C. (2007).

ITRF2005: a new release of the International Terrestrial reference frame based on time series of station positions and Earth Orientation Parameters.

J. Geophys. Res. 112, B09401. doi:10.1029/2007JB004949.

Baldi P., Casula G., Cenni N., Loddo F., Pesci A. (2009).

GPS-based monitoring of land subsidence in the Po Plain (Northern Italy).

Earth Planet. Sci. Lett., Sottomesso.

Barbarella M., Gandolfi S., Gordini C., Vittuari L. (2003).

Reti Di Stazioni Permanenti Per Il Posizionamento In Tempo Reale: Prime Sperimentazioni.

Atti 7a Conferenza Nazionale ASITA, Verona 28 - 31 ottobre 2003, 173-178.

Barbarella M., Gandolfi S., Ronci E. (2006a).

The Use of a GNSS Test Network for Real Time Application in Italy: First Results Based on Regional Field Test.

ION GNSS 19th International Technical Meeting of the Satellite Division, 26-29 September 2006, Fort Worth, TX, USA, 1226-1232.

Barbarella M., Bedin A., Gandolfi S. (2006b).

The transmission of GNSS Data in the DISTART Network for Real Time Kinematic Positioning.

Report on Geodesy - Wrocklav - Poland, No. 2 (77) 2006, 241-247.

Barbarella M., Gandolfi S., Zanutta A., Cenni N. (2007).

Tecniche per l'inquadramento di reti di stazioni permanenti regionali per il posizionamento in tempo reale.

Atti del Convegno Nazionale SIFET (ISBN 88-901939-4-8), 27-29 giugno 2007, Arezzo, pp. 52-59.

Barbarella M., Gandolfi S., Zanutta A., Cenni N., Ricucci L. (2008).

Confronto di codici di calcolo per l'inquadramento di reti di stazioni permanenti per il posizionamento in tempo reale.

Atti 12a Conferenza Nazionale ASITA (ISBN 978-88-903132-1-9), L'Aquila, 21-24 ottobre 2008, pp. 281-286.

Barbarella M., Cenni N., Gandolfi S., Ricucci L., Zanutta A. (2009a).

Technical and scientific aspects derived by the processing of GNSS networks using different approaches and software.

ION GNSS 22th International Technical Meeting of the Satellite Division, 23-25 September 2009, Savannah, GA, USA, 2677-2688.

Barbarella M., Gandolfi S., Ricucci L. (2009b).

Calcolo ed inquadramento della rete NRTK SO.G.E.R in Emilia-Romagna.

Atti 13a Conferenza Nazionale ASITA (ISBN 978-88-903132-2-6), Bari, 1-4 dicembre 2009, pp. 269-274.

Barbarella M., Gandolfi S., Ricucci L., Zanutta A. (2010).

The new Italian geodetic reference network (RDN): a comparison of solutions using different software systems.

In pubblicazione sugli Atti dello EUREF Annual Symposium;

Firenze - Italia; 27-30 Maggio 2009.

Beavan, J. (2005).

Noise proprieties of continuous GPS data from concrete pillar geodetic monuments in New Zealand and comparison with data from U.S. deep drilled braced monuments.

J. Geophys. Res. 110, B08410. DOI:10.1029/2005JB003642.

Biagi L., Pietrantonio G., Riguzzi F. (2005).

Effetto di un errore di modello della marea terrestre nel calcolo di reti permanenti GPS a scala regionale.

Atti della 9a Conferenza Nazionale ASITA, 2005.

Biagi L., Pietrantonio G., Riguzzi F. (2006).

Tidal errors and deformations in regional GPS networks.

ISDGM Proceedings, IAG Symposia Volumes 131, pagg 73-82, Springer-Verlag.

Blewitt, G. (2008).

Fixed point theorems of GPS carrier phase ambiguity resolution and their application to massive network processing: Ambizap

J. Geophys. Res., 113, B12410, doi:10.1029/2008JB005736.

Boucher C., Altamimi Z. (2008).

Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS Campaign.

(Available on line at: <http://etrs89.ensg.ign.fr/memo-V7.pdf>)

Capra A., Dubbini M., Galeandro A., Gusella L., Zanutta A., Casula G., Negusini M., Vittuari L., Sarti P., Mancini F., Gandolfi S., Montaguti M., Bitelli G. (2008).

VLNDEF project for geodetic infrastructure definition of Northern Victoria Land Antarctica.

Geodetic and Geophysical Observations in Antarctica. DOI: 10.1007/978-3-540-74882-3_3, (ISBN 978-3-540-74881-6 (Print), 978-3-540-74882-3 (Online)).

Craymer M., Piaszewski M. (2001).

The North American reference frame (NAREF): An Initiative to Densify the ITRF in North America.

Proceedings of International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation, Banff, Canada, June 5-8, 2001.

D'Agostino, N., Mantenuto, S., D'Anastasio, E., Avallone, A., Barchi, M., Collettini, C., Radicioni, F., Stoppini, A., Fastellini, G. (2008).

Contemporary crustal extension in the Umbria–Marche Apennines from regional CGPS networks and comparison between geodetic and seismic deformation.

Tectonophysics., DOI:10.1016/j.tecto.2008.09.033

Dach R., Hugentobler U., Fridez P., Meindl M. (2007).

Bernese GPS Software Version 5.0.

AIUB, Astronomical Institute, University of Berne, Switzerland, 1-640.

Dietrich R., Dach R., Engelhardt G., Ihde J., Korth W., Kutterer H.J., Lindner K., Mayer M., Menge F., Miller H., Müller C., Niemeier W., Perl J., Pohl M., Salbach H., Schenke H.W., Schöne T., Seeber G., Veit A., Völksen C. (2001).

ITRF coordinates and plate velocities from repeated GPS campaigns in Antarctica: an analysis based on different individual solutions.

Journal of Geodesy 74, 756–766.

Dong, D., Herring, T.A., King, R.W. (1998).

Estimating regional deformation from a combination of space and terrestrial geodetic data.

J. Geod., 72, 200–214.

Even-Tzur G., Salmon E., Kozakov M., Rosenblum M. (2004).

Designing a geodetic-geodynamic network: a comparative study of data processing tools.

GPS Solutions, doi 10.1007/s10291-004-0083-9, 8, 30-35.

Geirsson H., Árnadóttir T., Völksen C., Jiang W., Sturkell E., Villemin T., Einarsson P., Sigmundsson F., Stefánsson R. (2006).

Current plate movements across the Mid-Atlantic Ridge determined from 5 years of continuous GPS measurements in Iceland.

Journal of Geophysical Research, 11, B09407, doi 10.1029/2005JB003717.

Herring T.A., King R.W., McClusky S.C. (2009a).

GAMIT Reference Manual, GPS Analysis at MIT. Release 10.3.

Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge MA. 1 June 2009.

Herring T.A., King R.W., McClusky S.C. (2009b).

GLOBK Reference Manual, Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program. Release 10.3.

Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge MA. 28 May 2009.

Hugentobler U., Dach R., Fridez P., Meindl M. (2006).

Bernese GPS Software Version 5.0 DRAFT.

AIUB, Astronomical Institute, University of Berne, Switzerland.

Jivall L., Lidberg M., Nørbech T., Weber M. (2005).

Processing of the NKG 2003 GPS Campaign.

Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) in Vienna, 1–3 June 2005.

Kierulf H.P., Plag H.P., Bingley R.M., Teferle N., Demir C., Cingoz A., Yildiz H., Garate J., Davila J.M., Silva C.G., Zdunek R., Jaworski L., Martinez-Benjamin J.J., Orus P., Aragon A. (2008).

Comparison of GPS analysis strategies for high-accuracy vertical land motion.

Physics and Chemistry of the Earth, doi:10.1016/j.pce.2006.11.003, 33, 194–204.

Kierulf H.P., Pettersen B.R., MacMillan D., Willis P. (2009).

The kinematics of Ny-Ålesund from space geodetic data.

Journal of Geodynamics 48, 37–46.

Kouba J., Heroux P. (2000).

GPS Precise Point Positioning using IGS Orbit Products.

GPS Solutions, 5 (2), 12–28.

Negusini M., Mancini F., Gandolfi S., Capra A. (2005).

Terra Nova Bay GPS permanent station (Antarctica): data quality and first attempt in the evaluation of regional displacement.

Journal of Geodynamics. 39 (2005), 81–90.

Niell A.E. (1996).

Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths.

Journal of Geophysical Research 101, B2, 3227–3246.

Simons W.M.F., Ambrosius B.A.C., Noomen R., Angermann D., Wilson P., Becker M., Reinhard E., Walpersdorf A., Vigny C. (1999).

Observing plate motions in South East Asia: Geodetic results of the GEODYSSSEA Project.

Geophysical Research Letters, 26, 2081–2084.

Teferle F.N., Williams S.D.P., Kierulf H.P., Bingley R.M., Plag H.P. (2008).

A continuous GPS coordinate time series analysis strategy for high-accuracy vertical land movements.

Physics and Chemistry of the Earth 33, 205–216.

Teunissen P.J.G., Kleusberg A. (1998).

GPS for geodesy.

New York: Springer, c1998. ISBN – 3540636617.

Zakarevičius A., Šliaupa S., Paršeliūnas E., Stanionis A. (2008).

Geodetic network deformation based on GPS data in the Baltic region.

Geodezija ir kartografija, Geodesy and Cartography, doi: 10.3846/1392-1541.2008.34.122-126, 34, 4, 122–126.

Zanutta A., Gandolfi S., Vittuari L. (2008).

Geodetic GPS-based analysis of recent crustal motions in Victoria Land (Antarctica).

Global and Planetary Change, doi:10.1016/j.gloplacha.2008.01.001, (ISSN: 0921-8181), 62, 115–131.

Zumberge J.F., Helfin M.B., Jefferson D.C., Watkins M.M., Webb F.H. (1997).

Precise point positioning for efficient and robust analysis of GPS data from large networks.

Journal of Geophysical Research, 102, 5005–5017.

Web Pages (WP):

EUREFa.

Guidelines for European Permanent Network Analysis Centers:

http://www.epncb.oma.be/_organisation/guidelines/guidelines_analysis_centres.pdf

EUREFb.

EUREF Permanent Network Processing Option Table:

http://www.epncb.oma.be/_organisation/guidelines/proc_opt.pdf

EUREFc (Boucher C., Altamimi Z. (2008)).

Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign

<http://etrs89.ensg.ign.fr/memo-V7.pdf>

GEO++.

Home

<http://gnpcvdb.geopp.de>

IGMIa.

IGMI Official Web Site:

<http://87.30.244.175/rdn.php>

IGMIb.

Relazione tecnica: "La Rete Dinamica Nazionale e il nuovo Sistema di Riferimento ETRF2000"

http://87.30.244.175/rdn/rdn_download/relazione.pdf

IGMIc.

Coordinate della RDN nel Sistema ITRF05 all'epoca 2008.0

http://87.30.244.175/rdn/rdn_download/allegato4.pdf

IGMId.

Differenze fra i 3 Centri di Calcolo nelle coordinate ETRF2000 all'epoca 2008.0

http://87.30.244.175/rdn/rdn_download/allegato8.pdf

IGMIe.

Valutazione della ripetibilità dei risultati

http://87.30.244.175/rdn/rdn_download/allegato5.pdf

IGMIf.

Coordinate cartesiane della RDN in ETRF2000 all'epoca 2008.0

http://87.30.244.175/rdn/rdn_download/allegato6.pdf

IGSa:*IGS Formats:*<http://igscb.jpl.nasa.gov/components/formats.html>**IGSb:***IGS Products:*<http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>**IGSc:***Antenna phase center corrections:*<ftp://igscb.jpl.nasa.gov/pub/station/general/>**ITRF 2005.***ITRF 2005 station positions at epoch 2000.0 and velocities (GPS Stations):*http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2005/more_ITRF2005.php**NGSa:***Complete Relative Antenna Calibration File*http://www.ngs.noaa.gov/cgi-bin/showdoc.prl?Data=GPS/ant_info.003**NGSb:***Complete Absolute Antenna Calibration File*http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/images/ant_info.abs**NGSc:***Documento relativo alla calibrazione assoluta mutuata dalla calibrazione relative NGS:*http://www.geopp.de/index.php?sprachauswahl=en&bereich=5&kategorie=34&artikel=62/AOA_DM_T/**SOGER.***Rete Regionale GNSS della regione Emilia Romagna:*<http://www.gpsemiliaromagna.it/index.php>**Wikipedia.***Home:*http://it.wikipedia.org/wiki/Pagina_principale